



Relatório de Estágio para a obtenção do Grau de Mestre

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis

***Projeto de estrutura de betão armado – Análise
comparativa de dois softwares***

Hugo Filipe Gomes Major

Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Leiria, Setembro de 2016



Relatório de Estágio para a obtenção do Grau de Mestre

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis

***Projeto de estrutura de betão armado – Análise
comparativa de dois softwares***

Hugo Filipe Gomes Major

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Florindo Gaspar, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e supervisão do Eng.º Rui Lopes da empresa ArquiHom – Arquitetura, Lda..

Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Leiria, Setembro de 2016

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicatória

Aos meus pais.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

A realização deste trabalho marca o culminar de um percurso de estudo e desenvolvimento que se iniciou desde tenra idade. Este trabalho não seria possível sem a contribuição e acompanhamento de algumas pessoas e entidades. Com este espaço, manifesto os meus sinceros e profundos agradecimentos:

- A todos os professores que eu tive ao longo deste percurso escolar, que me deram bases e estruturas sólidas para chegar até ao final deste relatório. Em especial ao meu Orientador Florindo Gaspar pela paciência e disponibilidade de me acompanhar neste relatório, transmitindo os seus conhecimentos técnicos, conselhos e sugestões;
- À Arquihom – Arquitetura, Lda., a todos os seus funcionários e, em particular ao Arquiteto António Ferreira, pela oportunidade concedida em poder realizar o Estágio Curricular no seu gabinete, bem como por todo o apoio, logístico e material, que me foi concedido. Ao Eng.º Rui Lopes por me receber sob supervisão e por todo o conhecimento técnico que me transmitiu;
- Aos meus amigos e colegas de curso, principalmente Vasco Porém, Márcio Prazeres, Ivo Dias e Cátia Silva, por toda a ajuda e companheirismo que me ofereceram ao longo desta vida académica, sem esquecer a minha namorada Diana Jesus pelo seu carinho e paciência que teve, bem como, toda a força moral que me transmitiu;
- Por fim e com especial destaque o meu agradecimento a toda a minha família que me educaram e que sempre me deram o que precisei, acreditando sempre em mim e por nunca me terem deixado desistir, ao meu pai, Carlos, à minha mãe, Ana, e à minha irmã Solange.

O meu muito Obrigado!

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O presente relatório de estágio tem como propósito, a descrição das atividades realizadas no estágio de carácter curricular para o âmbito do curso de Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas. Este relatório trata um caso de estudo de uma moradia, para a realização de um projeto de estabilidade.

O propósito da análise estrutural para a moradia, vem com a necessidade do projeto de arquitetura ter sido concebido no gabinete da empresa, não existindo ainda o seu projeto de estabilidade. O estudo passa pela realização de modelos estruturais realizados em dois softwares de cálculo automático, um disponibilizado pela empresa e outro aprendido em período académico. Os dois softwares de cálculo utilizados foram: o CypeCad 2016 e o Robot Structural Analysis Professional 2015 versão estudante.

É feita uma abordagem quanto ao funcionamento e condições de inserção de dados que cada software, identificando as ações e valores característicos, selecionados para o seu cálculo estrutural do caso de estudo.

Com o decorrer do estudo, verificou-se que existem várias opções na inserção de dados relativos às ações na estrutura, podendo ser criada uma modelação de forma automática, isto é, através de dados pré-definidos que se encontram na base de dados do software de acordo com a regulamentação escolhida, ou de uma forma mais manual, onde o utilizador pode inserir os valores que pretende, mediante de uma introdução de um maior número de dados. Com esta realidade, fez-se uma análise comparativa dos modelos gerados de forma automática e de forma manual em cada software de cálculo.

Com a criação dos modelos concluída e calculada, fez-se uma comparação dos esforços para alguns elementos estruturais, verificando as diferenças de resultados, e fazendo a sua análise.

Por fim, foi efetuado o dimensionamento estrutural da moradia com recurso ao software utilizado pela empresa e gerados todos os seus desenhos do projeto de estabilidade para o caso de estudo.

Palavras-chave: Projeto de Estrutura; Estabilidade; Software de cálculo; Robot; Cypecad.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The objective of this report is the description of the activities performed in the curricular internship for the degree of Master in Civil Engineering – Building Construction. This report describes a case study of a dwelling, for the execution of a stability project.

The structural analysis of the dwelling comes after the creation of the architecture project by the project company, since it hadn't been done before. The study is done by the conception of structural models made in two software's for automatic calculations, one of them used by the company and the other used during the past academic period. The two softwares used were: CypeCad 2016 and Robot Structural Analysis Professional 2015.

An approach is made about the operation and conditions of data insertion by each software, identifying the actions and characteristic values, selected for the structural calculations of the study case.

During the study, it was observed that various options in the data insertion for the loads on the structure are available, creating an automatic modeling, with pre-defined data available in the software database, according with the chosen regulation, or in a manual way, where the user can insert the data through the insertion of a bigger amount of information. So, it was decided to create a model using the automatic way and another by the manual way with each software program.

After the conclusion of the models, a comparison was made in the forces obtained for some structural elements, checking the differences and analyzing them.

At last, the structural design was made for the structure, with the company's software, including all the drawings of the stability project.

Keywords: Project of structures; Stability; Calculation software; Robot; Cypecad.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	X
ÍNDICE	XII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABELAS	XVIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento e Objetivos	1
1.2 Entidade de acolhimento	2
1.3 Estrutura do trabalho	3
2. SOFTWARES DE ANÁLISE ESTRUTURAL	5
2.1. CYPECAD	5
2.2. Robot Structural Analysis Professional	6
2.3. Outros Softwares	8
2.3.1. SAP2000	8
2.3.2. Revit Structure	9
3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	11
3.1. Descrição da moradia	12
3.1.1. Pormenores construtivos	12
3.2. Pré-dimensionamento	13
4. MODELAÇÃO ESTRUTURAL	31
4.1. Modelação estrutural em Cypecad	31
4.1.1. Ações permanentes e sobrecargas	33
4.1.2. Ação do vento	35
4.1.3. Ação da neve	37
4.1.4. Ação do sismo	37
4.1.5. Combinação de Ações	39

4.2. Modelação estrutural em ROBOT	41
4.2.1. Ações permanentes e sobrecargas	42
4.2.2. Ação do vento	42
4.2.3. Ação da neve	45
4.2.4. Ação do sismo	45
4.2.5. Combinação de Ações	45
5. ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS	47
5.1. Análise comparativa dos pilares	47
5.2. Análise comparativa de vigas	51
5.3. Análise comparativa na laje	55
5.4. Análise comparativa nos muros	57
6. DESENHOS DO PROJETO DE ESTABILIDADE	61
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	63
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXO : PEÇAS DESENHADAS DO PROJETO DE ESTABILIDADE	67

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Logotipo da empresa.	2
Figura 2 - a) Entrada, receção e gabinetes de reunião; b) Ambiente de trabalho.	2
Figura 3 - Logotipo da empresa Cype [1].	5
Figura 4 - Logotipo do software Robot Structural Analysis Professional [17].	7
Figura 5 - Template com diferentes modelos de cálculo, retirado do software Robot. 7	
Figura 6 - Logotipo do SAP 2000 [18].	8
Figura 7 - Logotipo do software Revit Structure [3].	9
Figura 8 - Modelo em 3D do caso de estudo, retirado do software Archicad.	11
Figura 9 - Distribuição do coeficiente da zona para território nacional [10].	14
Figura 10 - Coeficiente de forma para carga da neve nas coberturas	16
Figura 11 - Zonamento em paredes verticais para ação do vento. ([11], adaptado) ..	21
Figura 12 - Pressões exercidas em superfícies [11].	22
Figura 13 - Zonas de variação de pressão em cobertura de quatro vertentes, [11] adaptado.	24
Figura 14 - Forma do espectro de resposta elástica [13].	25
Figura 15 - Menu de dados da obra, retirado do software Cypecad.	32
Figura 16 - Modelação estrutural final em 3D, retirado do software Cypecad.	32
Figura 17 - Menu de edição de grupos para introdução das cargas permanentes e sobrecargas, retirado do software Cypecad.	33
Figura 18 - Adição de cargas consoante os espaços de serviço, planta R/C, retirado do software Cypecad. (sem escala)	33
Figura 19 - a) Menu de edição do impulso do terreno; b) Menu de edição de Impulso do muro; retirado do software Cypecad.	34
Figura 20 - a) Menu de edição do núcleo de escada; b) Menu da tipologia de escadas; retirado do software Cypecad.	35
Figura 21 - Menu de seleção de dados para o cálculo da ação do vento, retirado do software Cypecad.	36

Figura 22 - a) Adição da ação do vento; b) respetivos valores de carga na cabeça dos pilares, retirado do software Cypecad.	36
Figura 23 - Carga da ação da neve de forma automática, retirado do software Cypecad.	37
Figura 24 - Carga da ação da neve de forma manual, retirado do software Cypecad.	37
Figura 25 - Valores para o cálculo da ação sísmica, retirado do software Cypecad.	38
Figura 26 - a) Zona Sísmica consoante o distrito; b) Zona Sísmica consoante o município; retirado do software Cypecad.	38
Figura 27 - Combinações automáticas para verificação para os estados limites, retirado do software Cypecad.	39
Figura 28 - Combinações manuais para verificação para os estados limites, retirado do software Cypecad.	40
Figura 29 - Seleção de combinações através dos dados obra ou introduzidas pelo utilizador, retirado do software Cypecad.	40
Figura 30 - Edição dos coeficientes para as combinações dos Estados Últimos, retirado do software Cypecad.	40
Figura 31 - Modelação estrutural em 3D, retirado do software Robot.	41
Figura 32 - Modelação estrutural em 3D através da discretização de elementos, retirado do software Robot.	41
Figura 33 - Modelação estrutural com cladding, retirado do software Robot.	43
Figura 34 - Criação de cargas de vento através da sua simulação, retirado do software Robot.	43
Figura 35 - Área de incidência do vento na edificação, retirado do software Robot.	44
Figura 36 - a) Pressão do vento a 0° na moradia; b) Pressão do vento a 90° na moradia; c) Pressão do vento a 180° na moradia; d) Pressão do vento a 270° na moradia; retirado do software Robot.	44
Figura 37 - Menu de parâmetros de análise modal, retirado do software Robot.	45
Figura 38 - a) Combinações manuais; b) Edição do fator para os tipos de carga; retirado do software Robot.	46
Figura 39 - a) Combinações automáticas; b) Geração automática de todas as Combinações; retirado do software Robot.	46
Figura 40 - Síntese dos resultados de esforços dos vários modelos estruturais realizados para o Pilar 4E.	48

Figura 41 - Síntese dos resultados de esforços dos vários modelos estruturais realizados para o Pilar 3A.....	50
Figura 42 - Síntese dos resultados do esforço transversal dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 2 do R/C.	52
Figura 43 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 2 do R/C.	53
Figura 44 - Síntese dos resultados do esforço transversal dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 5 do R/C.	53
Figura 45 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a viga 5 do R/C.	54
Figura 46 - Síntese dos resultados do momento fletor em xx dos vários modelos estruturais realizados para a Laje do R/C.	55
Figura 47 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a Laje do R/C.	56

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valores de cargas aplicados na moradia.....	13
Tabela 2 - Coeficientes de forma para a carga da neve. [10].....	16
Tabela 3 - Valores recomendados de coeficiente de exposição ao vento. [10]	17
Tabela 4 - Categoria de terreno e respetivos parâmetros. [11]	18
Tabela 5 - Valores de coeficientes de pressão exterior para paredes verticais com coeficientes globais. ([11], adaptado)	21
Tabela 6 - Vento Sudeste (vento a 0°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,78 Kpa).....	22
Tabela 7 - Vento Sudeste (vento a 0°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,78 Kpa).....	23
Tabela 8 - Vento Sudoeste (vento a 180°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa)	23
Tabela 9 - Vento Sudoeste (vento a 180°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa)	23
Tabela 10 - Vento Nordeste (vento a 90°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa) e Vento Noroeste (vento a 270°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa)	23
Tabela 11 - Vento Nordeste (vento a 90°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa) e Vento Noroeste (vento a 270°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa)	24
Tabela 12 - Coeficientes de pressão e resultante pressão do vento na cobertura.	24
Tabela 13 - Valores recomendados para espectros de resposta elástica de tipo 1 [13].	26
Tabela 14 - Valores recomendados para espectros de resposta elástica de tipo 2 [13].	26
Tabela 15 - Classes e coeficientes de importância para os tipos de construções [13].	27

Tabela 16 - Largura das bandas na moradia.....	35
Tabela 17 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Pilar 4E.	48
Tabela 18 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Pilar 3A.....	50
Tabela 19 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para a viga 2.	52
Tabela 20 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para a viga 5 do R/C.....	54
Tabela 21 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Laje do R/C.....	56
Tabela 22 - Síntese dos resultados dos vários modelos estruturais realizados para o Muro 20.	58
Tabela 23 - Análise dos esforços verificados nos vários modelos estruturais para o Muro 20.	58
Tabela 24 - Síntese dos resultados dos vários modelos estruturais realizados para o Muro 4.	59
Tabela 25 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Muro 4.	60

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

1.1 Enquadramento e Objetivos

O presente documento é um Relatório de Estágio Curricular realizado na entidade acolhedora Arquihom – Arquitectura, Lda., no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas, que teve um período de 6 meses.

O estágio teve a finalidade da integração no mercado de trabalho com o acompanhamento de um supervisor, na aplicação dos conhecimentos adquiridos na formação académica, mas também aprendendo e adquirindo novos conhecimentos.

Ao longo deste período, o estagiário teve a oportunidade de desempenhar funções de medição, visitas a locais de obras em execução e futuras obras de forma a fazer o levantamento do pré-existente, bem como o dimensionamento de Projeto de Redes de Abastecimento de Águas, Esgotos e Pluviais.

O desenvolvimento e evolução da tecnologia está cada vez mais presente na vida humana, sendo cada vez mais um instrumento indispensável nos dias de hoje. Frequentemente surgem novos softwares e muitos outros são atualizados e reformulados, acompanhando as necessidades dos utilizadores. Através desta crescente evolução surgem os softwares de cálculo automático de estruturas, permitindo auxiliar assim os projetistas de estruturas nas suas análises estruturais.

O objetivo do estudo não foi só a realização de um projeto de estabilidade, bem como permitiu ao utilizador o conhecimento das funcionalidades do software de cálculo utilizado pela empresa, assim como comparar os resultados gerados pelos dois softwares de cálculo.

Após o dimensionamento dos elementos estruturais, procedeu-se à sua pormenorização, componente fundamental para a conceção e que sempre foi referenciado pelos docentes de estruturas ao longo do percurso académico, alertando-nos para detalhar e esclarecer os pormenores com qualidade e de uma forma clara. Estes elementos fazem a ponte entre o que o projetista pretende que se construa e o que realmente será construído.

1.2 Entidade de acolhimento

O local de estágio foi um gabinete sediado em Fátima, mais propriamente na Av. D. José A. C. da Silva, Ed. Fatimae, nº. 123 – 2º Andar, Gab 6. Este gabinete fundado em 1999 pelo Arquiteto António Ferreira, está ligado ao desenvolvimento de projetos de arquitetura e de engenharia, estudos económicos e planeamento, assim como na fiscalização e o acompanhamento de obras, designado por Arqui Hom, Lda. Na Figura 1 pode observar-se o logotipo da empresa.

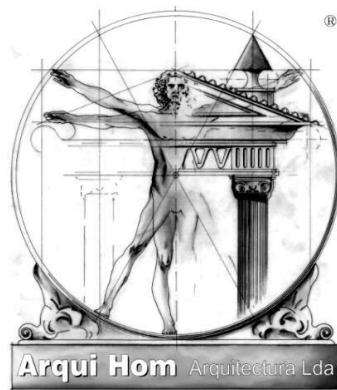
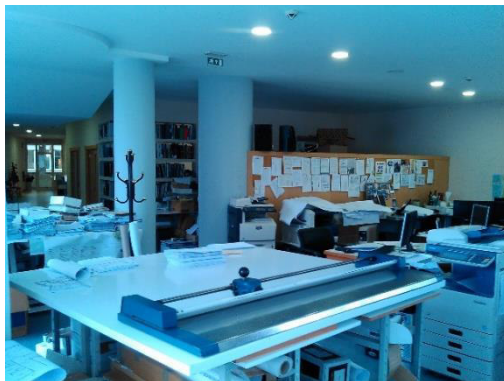


Figura 1 - Logotipo da empresa.

O gabinete conta já com um vasto portefólio de trabalhos em diversas áreas tentando sempre satisfazer as exigências dos seus clientes. Com uma equipa de trabalho experiente composta por três arquitetos, um engenheiro civil e dois desenhadores na qual já foram realizados trabalhos de novos edifícios, de reabilitação, hotelaria, projetos de interiores e decorações bem como, projetos de loteamento e de urbanismo. Na Figura 2 pode observar-se o ambiente de trabalho.

a)



b)



Figura 2 - a) Entrada, receção e gabinetes de reunião; b) Ambiente de trabalho.

1.3 Estrutura do trabalho

O relatório de estágio está estruturado em seis capítulos. Cada capítulo representa uma etapa que foi elaborada até chegar à sua conclusão final. Segue-se uma breve descrição dos respetivos capítulos.

- Capítulo 1 – É feito um enquadramento do trabalho, ao nível dos objetivos e âmbito a que este relatório se insere, e o que se pretende concluir e obter no seu final. Apresenta de uma forma sintetizada a entidade de acolhimento onde foi inserido o estágio e o conteúdo dos capítulos que constituem o presente relatório;
- Capítulo 2 – Neste segundo capítulo é realizado uma breve descrição de alguns softwares comerciais de cálculo estrutural, dando mais detalhe aos dois softwares trabalhados ao longo do período de estágio;
- Capítulo 3 – O conteúdo desta secção refere o caso em estudo, a descrição do edifício e a análise de valores de ações consideradas;
- Capítulo 4 – Neste capítulo explica-se como foi modelada a estrutura nos dois softwares de cálculo, Cypecad e Robot Structural Analysis Professional;
- Capítulo 5 – Neste capítulo faz-se a análise dos resultados dos valores de esforços das modelações, analisando se existe grande discrepância entre os mesmos elementos estruturais;
- Capítulo 6 – Uma vez obtidos os esforços, seguiu-se então para o dimensionamento do caso de estudo e a elaboração das peças desenhadas.
- Capítulo 7 – Para terminar, são apresentadas as conclusões finais, assim como desenvolvimentos e estudos futuros sobre aspetos que poderão ser de interesse de estudo e desenvolvimento.
- No Anexo, encontram-se todos os desenhos do projeto de estabilidade para o caso de estudo, bem como pormenores construtivos do edifício para a prática e regras de uma boa execução de construção.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Softwares de análise estrutural

O mercado de softwares de análise estrutural está em constante atualização, existindo já diversos softwares de cálculo automático. Softwares que cada vez mais se especializam no cálculo de elementos estruturais específicos. Neste trabalho foi dado ênfase aos softwares Cypecad e Robot Structural Analysis mas também existem outros como o SAP 2000 ou Revit Structures, etc.

2.1. CYPECAD

A “CYPE Ingenieros S.A.” é uma empresa espanhola que desenvolve e comercializa este tipo de software de cálculo automático de estruturas. A primeira versão lançada surgiu no ano de 1997 para o sistema operativo *Windows*, tendo desde esse tempo sofrido sucessivas alterações de forma a se manter sempre atualizado [1]. Na Figura 3 pode observar-se o logotipo deste software.



Figura 3 - Logotipo da empresa Cype [1].

O software CYPECAD surge com o intuito da criação de projetos de edifícios de betão armado e misto, sujeitos a ações verticais e horizontais, dando a máxima fiabilidade de cálculo ao projetista de estruturas bem como as peças desenhadas dos seus elementos estruturais. Ao longo dos tempos adaptaram outras aplicações não relacionadas com o cálculo estrutural, isto é, aplicações que permitem ao utilizador realizar os Projetos de Isolamento Acústico, de Redes de Abastecimento Águas, Esgotos e Pluviais, bem como de Isolamento Térmico entre outros.

Os dados para a realização da modelação do edifício são de introdução gráfica, isto é, quase toda a utilização do software é feita com o auxílio do rato, remetendo para o teclado pequenas introduções numéricas quando assim é necessário. Devido a isto, a realização da modelação no software é feita de forma rápida, permitindo poupança de tempo.

A análise da estrutura é realizada através de um cálculo estático, considerando um comportamento linear para os materiais, com o propósito de adquirir esforços e deslocamentos. Quando se consideram ações dinâmicas de sismo, a análise é realizada através da análise modal espectral.

Ao iniciar o modelo estrutural é possível importar um ficheiro de outra plataforma CAD (*Computer Aided Design*), isto é, ficheiros em DWG, DXF ou DWF, software de desenho assistido por computador. [2]

Durante a introdução dos respetivos elementos no seu local pretendido, é possível visualizar os elementos em 3D, acompanhando assim a sua modelação.

Considera elementos finitos lineares de barra na modelação de pilares e vigas, e nas lajes é feita em elementos finitos em grelha, e de casca espessa na modelação de elementos de muros e paredes. Para cada piso com laje, considera o comportamento de diafragma rígido, isto é, estabelece a compatibilização de deformação em todos os nós adotando seis graus de liberdade por nó, impedindo os deslocamentos relativos entre os nós dos mesmos.

Relativamente aos resultados finais, estes são apresentados por diagramas ou mapas de esforços de momentos flettores, momentos torsores, esforço transversal em cada plano e total, bem como, deslocamentos verticais, armadura necessária nos elementos estruturais conforme a regulamentação. As peças desenhadas estarão conforme as dimensões dos elementos e pormenorizadas as armaduras de acordo com as opções de dimensionamento de cada utilizador. O software fornece também ao utilizador peças escritas dos materiais, quantidades e esforços que podem ser editadas e clarificadas por cada utilizador.

2.2. Robot Structural Analysis Professional

Inicialmente designado por Robot Millenium, este software foi criado por André Niznik na sua tese de doutoramento no Instituto Francês de Engenharia Civil de Toulouse, em França, no ano de 1983. Antes dos seus direitos de comercialização serem adquiridos pela empresa Norte Americana “Autodesk” foi a empresa Francesa “Robot Diffusion” que começou a comercializar o software, criando em 2000 uma versão em ambiente *Windows*.

Com a transferência para a empresa Norte Americana, esta integrou o software com outros softwares de engenharia que já comercializava, interligando-o ao conceito *Building Information Modeling* (BIM) [16].

Na Figura 4 pode observar-se o logotipo deste software.

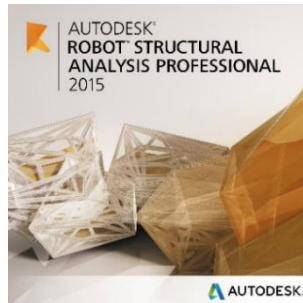


Figura 4 - Logotipo do software Robot Structural Analysis Professional [17].

O Autodesk Robot Structural Analysis Professional é um software de cálculo automático, que faculta aos engenheiros de estruturas capacidades avançadas de simulação e análise de edifícios para estruturas grandes e complexas. Permite ao projetista fazer a análise linear e não-linear estática e dinâmica de estruturas utilizando o método dos elementos finitos. Fornece informação para o dimensionamento das estruturas, mediante a verificação de regulamentação com base nos códigos de construção inseridos na sua base de dados.

No início de qualquer modelação, está pré-definido um template com diferentes modelos de cálculo, consoante os tipos de elementos estruturais que se pretende analisar, como se pode observar na Figura 5. Os modelos analisados podem ser de forma bidimensionais ou tridimensionais variando os seus graus de liberdade para cada modelo. Para o trabalho em causa selecionou-se a opção “casca” para o modelo de cálculo.



Figura 5 - Template com diferentes modelos de cálculo, retirado do software Robot.

Como no software anterior, este também permite a introdução de dados no próprio software ou através da importação de um ficheiro de outra plataforma CAD, isto é, ficheiros em DWG, DXF ou DWF.

Neste Software o utilizador pode criar os seus próprios objetos em 3D o que lhe permite fazer e analisar elementos novos que não existam no mercado.

Para a realização de um modelo estrutural, este é estruturado por objetos, nomeadamente, barras que caracterizam os pilares e vigas, painéis e nós. Nos objetos é possível definir a geometria e o material que se pretende utilizar, betão, aço, madeira, etc. Os painéis podem ser divididos em vários elementos finitos e o seu refinamento efetuado de maneira automática pelo software ou manualmente personalizado pelo utilizador. Os nós têm a função de caracterizar as restrições de translação e rotação segundo os eixos, x, y, z, isto é, graus de liberdade, bem como definir constantes elásticas e impor deslocamentos [17].

Quanto aos resultados, estes são apresentados por meio de mapas ou diagramas que podem ser consultados mediante tabelas com os valores nodais de forma detalhada.

2.3. Outros Softwares

2.3.1. SAP2000

O software SAP2000 é muito parecido ao Robot Structural Analysis. Este software também faz a análise estrutural com interface tridimensional e os elementos estruturais são modelados por elementos finitos lineares, de superfície e de volume. Os materiais podendo ser analisados de forma estática e dinâmica, do tipo linear e não-linear. A realização das verificações também pode ser feita de acordo com os vários regulamentos de construção disponíveis na sua base de dados. Este software possui vários “templates” pré-definidos consoante o elemento estrutural que se pretende analisar, variando assim os graus de liberdade para cada “template”. Para a realização do início da modelação estrutural, este software também permite a importação de um ficheiro de outra plataforma CAD.

Na Figura 6 pode observar-se o logotipo deste software.



Figura 6 - Logotipo do SAP 2000 [18].

2.3.2. Revit Structure

Este software atualmente desenvolvido pela Norte Americana “Autodesk”, também ele foi criado no conceito BIM, onde permite ao utilizador(es) criar um modelo paramétrico que está interligado com os outros ficheiros, propagando assim as alterações e correções que nele sejam feitas.

A modelação do edifício é feita utilizando objetos tridimensionais para criar os elementos estruturais e não estruturais. Assim como no Robot, o utilizador pode criar os seus próprios objetos em 2D e 3D no software ou importá-lo de um ficheiro de outra plataforma CAD, ficheiros em DWG, DXF ou DWF.

Os resultados das análises atualizam de forma automática o modelo analítico deste software, isto é, se o modelo analítico tiver de forma bidirecional ligado ao software Robot Structural Analysis, quando existe uma alteração de um elemento, este altera a sua análise automaticamente no seu modelo.

A versão de 2017 da Autodesk Revit irá conter todas as ferramentas que anteriormente estavam disponíveis em pacotes individuais juntando-as num só software, assim esta nova versão irá conter o Revit Arquitetura, Revit Mep e Revit Structure num só software [3]. Na Figura 7 pode observar-se o logotipo deste software.

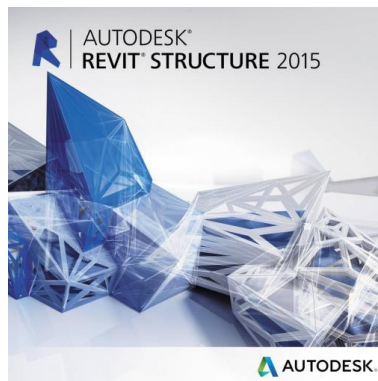


Figura 7 - Logotipo do software Revit Structure [3].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Descrição do caso de estudo

O estudo refere-se à modelação estrutural de uma moradia para habitação, situada em Santa Catarina da Serra, no distrito de Leiria. O projeto de arquitetura foi executado no gabinete à data de Dezembro de 2015, sendo a tipologia da moradia T2 com uma área de implantação de 279,60 m². O projeto estava numa fase inicial, e não tinha sido dado início ao seu projeto de estabilidade. Na seguinte Figura 8 pode observar-se o modelo em 3D, realizado em Archicad, do caso de estudo.



Figura 8 - Modelo em 3D do caso de estudo, retirado do software Archicad.

Uma modelação estrutural não faz um engenheiro projetar estruturas, esta serve apenas de ajuda e compreensão para analisar estruturas.

Este trabalho está assim dividido em quatro análises estruturais de um caso de estudo real, dividido pelos dois softwares referidos anteriormente. Em cada software realizou-se dois modelos estruturais, em que, um deles de uma forma o mais automática possível e o outro modelo de uma forma mais manual possível. Assim, para o início da modelação gerou-se uma planta com coordenadas, para que nos dois softwares existisse o mesmo ponto de referência, de modo a que localização dos elementos estruturais sejam o mais similar possível em todos os modelos. A inserção das ações verticais e horizontais nas modelações será explicada mais detalhadamente nos pontos seguintes.

Após a análise dos valores de esforços, procedeu-se ao seu dimensionamento e à realização das peças desenhadas, sendo esta última fase de grande rigor e clareza, pois são os elementos que vão para obra para a realização do que se pretende construir.

3.1. Descrição da moradia

A moradia tem uma geometria em forma de “L”, constituída por um nível abaixo da cota de soleira e outro ao nível da cota de soleira. Ainda ao nível do primeiro andar, existe um piso de pequenas dimensões de forma retangular. Os vários espaços e divisões da moradia estão divididos da seguinte forma:

- **Cave:** Garagem de estacionamento, uma zona de arrumos, um local técnico e escadas de acesso ao piso superior;
- **Rés-do-chão:** Hall de entrada, uma sala comum com varanda, cozinha com despensa, W.C., escritório, zona de circulação, dois quartos com roupeiro e casa de banho privativa. Zona técnica com uma casa de banho, garagem de estacionamento, uma lavandaria e escadas de acesso ao piso inferior e piso superior;
- **1º Andar:** Dois terraços, uma zona de arrumos e escadas que dá acesso aos pisos inferiores.

A cobertura do edificado será construída em telha cerâmica com quatro águas, tendo uma pendente de 22,5°.

3.1.1. Pormenores construtivos

O terreno é de fraca qualidade, constituído principalmente por um solo argiloso, sendo uma das exigências que a sua fundação fosse constituída através de ensoleiramento geral na sua base, e lajes maciças nos seus pisos, de forma que a estrutura se comporte de uma forma mais rígida em forma de monolítica e minimizando também os assentamentos que possam vir a surgir.

As paredes exteriores dos pisos acima da cota de soleira são compostas por um sistema ETCS com 5 cm de espessura, tijolo cerâmico de 20 cm e na sua parte interior isolamento térmico de lã mineral e duas placas cruzadas de gesso cartonado.

Na laje do piso do rés-do-chão existe uma claraboia que permite a passagem de luz natural para o piso inferior.

Na varanda existe uma viga estética, isto é, uma viga que apenas serve para realçar e dar beleza ao edifício, sem que constitua um elemento estrutural de transmissão, ou encaminhamento de esforços de suporte da moradia. Esta viga está sobre colunas em pedra sem continuidade para a fundação do edifício.

3.2. Pré-dimensionamento

Antes de iniciar a modelação estrutural para a análise de cargas de modo à realização do projeto de estabilidade foi realizado o pré-dimensionamento dos elementos estruturais consoante a localização do edifício.

Materiais utilizados:

- Betão – Para todos os elementos estruturais da obra: C25/30; $f_{ck}=25\text{Mpa}$; $\gamma_c=1,50$. Classe de exposição: Corrosão provocada por carbonatação; Designação: XC1 – Ambiente seco ou permanentemente húmido;
- Varões de aço - Para todos os elementos estruturais da obra: A400NR; $f_{yk}=400\text{Mpa}$; $\gamma_s=1,15$.

Ações consideradas

O edifício está sujeito a diversas ações horizontais e verticais, ações estas que podem ter carácter de permanente ou variável. Para as ações permanentes teve-se em conta as características dos materiais e os seus pesos próprios [19], segundo as especificações das tabelas técnicas de fabricantes. Para as ações variáveis presentes no edifício, nomeadamente as sobrecargas, teve-se em conta segundo a regulamentação do Eurocódigo 1 [9], em que as sobrecargas de utilização são classificadas de acordo com a categoria do edifício.

Todos os valores de cargas que foram introduzidas nas diferentes zonas do edifício estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de cargas aplicados na moradia.

Ações em estruturas	Restantes Cargas Permanentes	Sobrecargas	Unidades
Zona Habitável	3	2	kN/m ²
Escadas	1,5	3	
Garagem para estacionamento	3	2,5	
Varandas	3	5	
Terraço acessível	3	5	
Cobertura ordinária	1,5	0,4	
Impulso de terras	41,46		

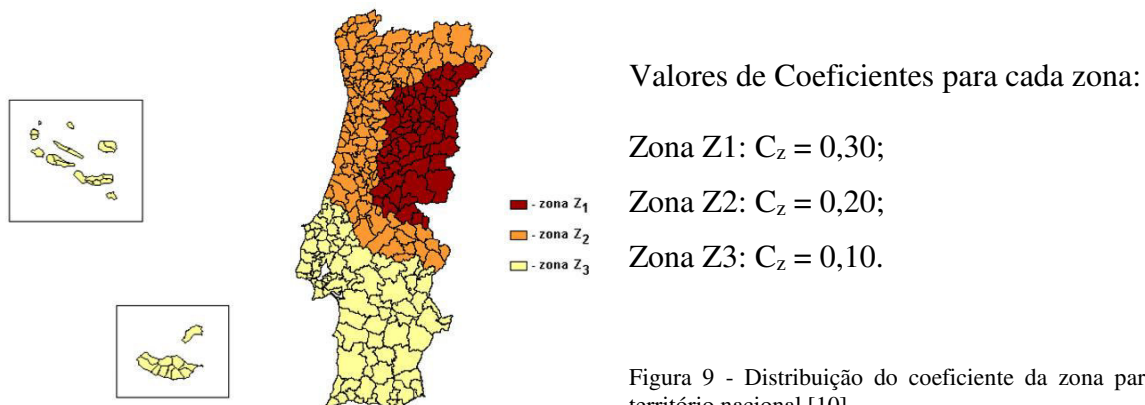
Guarda corpos	0,5	0,5	kN/m
Vidro da entrada	0,3	1,2	
Viga estética	1,57		
Parede exterior global	3		
Murete da platibanda	2	2	
Pilares de pedra	2,2		kN

Cálculo da ação da Neve

Segundo o Eurocódigo 1 [10], este notabiliza duas condições de análise para a queda da neve. Uma das condições é a ocorrência desta em circunstâncias normais, isto é, uma ocorrência de neve de baixo grau e sem grande acumulação na cobertura. Esta análise considera que a queda de neve mantém uma camada constante ao longo do tempo que acabará por se desfazer de forma gradual. Na camada considerada, esta deve conglobar a precipitação da neve, o estudo da deslocação da neve por força do vento ou pelas características geométricas da cobertura, por parâmetros que serão caracterizados mais à frente.

A outra condição de análise surge quando existe precipitação excessiva, ou seja, nevões de grande intensidade. A ocorrência destas condições excecionais pode originar grandes deslocamentos de massas de neve na cobertura podendo provocar o seu derrube. Assim esta condição é analisada como uma ação accidental.

Para o caso em estudo, como já foi referido, a sua localização será no Distrito de Leiria. Zona esta que segundo a norma, situa-se na Zona 2 do território português, como se pode observar na Figura 9. A distribuição de divisões está associada ao coeficiente de probabilidade de ocorrência de neve, existindo assim diferentes valores de coeficiente dependendo da zona.



Quanto maior a altitude do edificado, maior será o valor característico da ação da neve ao nível do solo. A localização situa-se mais concretamente em Santa Catarina da Serra a uma altitude de 350 m, em relação ao nível do mar. Assim, o cálculo do valor característico da carga da neve ao nível do solo é achado pela expressão 1.

$$S_k = C_z \cdot \left[1 + \left(\frac{H}{500} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Onde:

S_k =Valor característico da carga da neve ao nível do solo;

C_z =Coeficiente dependente da zona;

H =Altitude do local do edifício, em metros.

A resultante da equação anterior é igual a 0,298 kN/m².

Para calcular a carga da neve na cobertura precisamos de ter em conta os seguintes parâmetros. O coeficiente de forma da carga da neve, este varia consoante o tipo de cobertura que o edificado possui e o ângulo de inclinação da cobertura relativamente ao plano horizontal. No caso em estudo a cobertura não é regular, pois existe um nível superior fazendo com que a cobertura do rés-do-chão esteja em contacto com uma construção mais alta. Assim, o coeficiente de forma é dado pela expressão 2.

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (2)$$

Onde:

μ_s – Coeficiente de forma para a carga da neve tendo em conta o deslizamento da neve na cobertura vizinha;

Para $\alpha > 15^\circ$, μ_s é determinado a partir de uma carga adicional igual a 50% da carga total máxima da neve na vertente adjacente da cobertura superior.

μ_w – Coeficiente de forma para a carga da neve devido ao vento.

Quanto ao cálculo do coeficiente de forma para a carga da neve tendo em conta o deslizamento da neve na cobertura vizinha, e tendo em conta um ângulo de inclinação de 22,5°, é assim caracterizado pela expressão 3.

$$\mu_s = \mu_1 \times 1,5 \quad (3)$$

A Tabela 2 indica os valores de coeficiente de forma para a carga de neve, relativamente ao seu deslizamento na superfície da cobertura.

Tabela 2 - Coeficientes de forma para a carga da neve. [10]

Ângulo de inclinação da vertente α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0

Uma vez que a moradia possui uma pequena platibanda na zona frontal do edifício, bem como dois terraços que impede assim o deslizamento da neve para o solo, considerou-se que o seu coeficiente de forma é igual a 1,0 fazendo com que o seu resultado final por estar em contacto por uma cobertura vizinha mais alta seja igual a 1,5.

Através da expressão 4 determina-se o coeficiente de forma para a carga da neve devido ao vento.

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{sk} \quad (4)$$

Onde:

γ – Peso volúmico da neve, o qual, para efeitos deste cálculo, poderá ser considerado igual a 2 kN/m³.

b_1 e b_2 – comprimento horizontal da cobertura do nível superior e inferior.

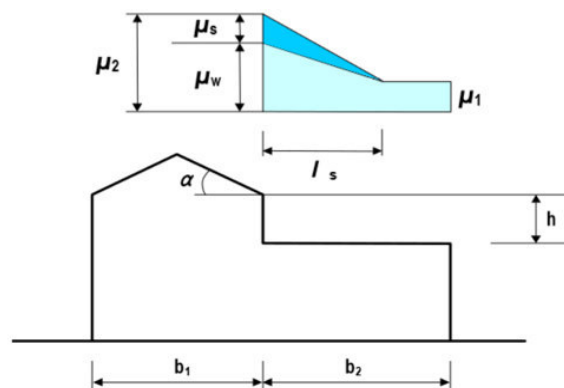


Figura 10 - Coeficiente de forma para carga da neve nas coberturas em contacto com construções mais altas [10].

Para o edificado em estudo, os valores de b_1 e b_2 conforme a Figura 10 são, 9,15 m e 6,30 m, respetivamente, contendo uma altura h , de 2,70 m. O resultado final para o coeficiente de forma para a carga da neve devido ao vento é assim de 2,86, sendo este valor inferior ao coeficiente regulamentar que é de 18,12.

A extensão do deslocamento da neve é calculada pela expressão 5.

$$l_s = 2h \quad (5)$$

Assim, a extensão do deslocamento da neve é de 5,4 m.

Através dos valores achados já é possível calcular o coeficiente de forma para a carga da neve tendo em conta o deslizamento da neve na cobertura vizinha que era caracterizado pela expressão 2. O seu resultado final é igual a 4,36.

O tipo de exposição a que a cobertura está sujeita é um fator importante, pois o vento pode alterar a disposição da neve na cobertura assim como a sua geometria. Na Tabela 3 estão expostos os valores recomendados para o coeficiente de exposição C_e relativamente à topografia de exposição ao vento.

Tabela 3 - Valores recomendados de coeficiente de exposição ao vento. [10]

Topografia da cobertura	C_e
Topografia exposta ao vento – Zonas planas, sem obstáculos e exposto de todos os lados, sem ou com pouco abrigo conferido pelo terreno, por construções mais altas ou por árvores.	0,8
Topografia normal – Zonas nas quais não há uma remoção significativa da neve pelo vento, devido à configuração do terreno, à existência de outras construções ou de árvores.	1,0
Topografia abrigada – Zonas tais que a construção em causa fica a um nível consideravelmente mais baixo que o terreno circundante ou que está rodeada por árvores altas e/ou por outras construções mais altas.	1,2

Para o caso em estudo este apresenta uma topografia normal, tendo assim o valor recomendado de coeficiente de exposição ao vento de 1,0.

Outro coeficiente a ter em conta, é o coeficiente térmico C_t , pois se a cobertura possuir mecanismos de aquecimento ou se for uma cobertura envidraçada, através do fluxo ascendente de calor o seu coeficiente térmico tende a ser mais reduzido uma vez que existe menos carga de neve no seu topo. Assim, se não existir nenhum caso que provoque a redução do coeficiente térmico este deve possuir o valor de 1,0.

Contendo já os parâmetros necessários para calcular a carga da neve na cobertura, este pode ser achado pela expressão 6.

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (6)$$

Conforme a expressão 6, os coeficientes de forma para a carga da neve μ_i , no caso em estudo, assume o valor 1,0 para zonas afastadas do contacto de construções mais altas e 4,36

junto a estas. Assim o resultado final da carga da neve é de $0,3 \text{ kN/m}^2$ distribuído no plano horizontal em toda a cobertura do edifício exceto, na zona junto à construção mais alta que é de $1,3 \text{ kN/m}^2$, sendo esta uma carga triangular com um comprimento de 5,4 m.

Cálculo da ação do Vento

Segundo Eurocódigo 1 [11], a ação do vento em caso de construções fechadas, atua diretamente em forma de pressão, nas superfícies exteriores e de forma indireta sobre as superfícies interiores.

Essa pressão pode traduzir-se pelo valor de referência, v_b , que exprime a direção do vento e o coeficiente de razão, que são parâmetros unitários. Para os valores de referência, a sua probabilidade de serem excedidos equivale a um período médio de retorno igual a 50 anos. Assim, o valor básico de velocidade de referência do vento é referente à zona da construção do edificado.

O continente nacional está dividido em duas zonas, zona A e zona B, com valores de base de referência do vento de 27 m/s e 30 m/s, respetivamente, sendo a localização do edifício em estudo situada na zona A.

A rugosidade do terreno também é um dado a ter em conta, na Tabela 4 é possível observar os valores indicados para o comprimento de rugosidade, z_0 , e a altura mínima, z_{\min} , para a categoria de rugosidade do terreno.

Tabela 4 - Categoria de terreno e respetivos parâmetros. [11]

Categoria do terreno	Z_0 (m)	Z_{\min} (m)
0 – Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar	0,003	1
I – Lagos ou zonas plana e horizontal com vegetação negligenciável e livre de obstáculos	0,01	1
II – Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	2
III – Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	5
IV – Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.	1,0	10

Para o caso em estudo, este situa-se a uma categoria de terreno de nível III, contendo assim um comprimento de rugosidade de 0,3 m e uma altura mínima de 5 m.

Através da expressão 7 ou 8, consoante a altura do edifício, é possível determinar o seu coeficiente de rugosidade, C_r , que depende da altura do edifício acima do solo e da categoria do terreno.

Para $Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$:

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (7)$$

Para $Z \leq Z_{\min}$:

$$C_r(z) = C_r(Z_{\min}) \quad (8)$$

$$K_r = 0,19 \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (9)$$

Onde:

Z_{\min} e Z_0 – consoante a categoria do terreno;

$Z_{0,II}$ – considerado 0,05;

Z_{\max} – considerado 200 m.

A altura do edifício no caso em estudo varia consoante o seu alçado, para o alçado sudeste a sua altura é de 11 m, uma vez que é permitido o acesso pela cave ao interior da moradia, os restantes três alçados a altura é de 8 m. Através destas diferenças de altura, existem então diferentes coeficientes de rugosidade. Assim, para o lado sudeste o resultado do coeficiente de rugosidade é de 0,776 e nos restantes alçados de 0,707.

Com o coeficiente de orografia, c_0 , geralmente considerado igual a 1,0, e através da expressão 10, determina-se a velocidade média do vento, v_m , a uma altura z acima do solo.

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (10)$$

Assim, para a velocidade média a uma altura de 8 m, corresponde a 19,10 m/s, enquanto para uma altura de 11 m corresponde a 20,95 m/s.

Para determinar a intensidade de turbulência à altura z , $I_v(z)$, este resulta da divisão entre o desvio padrão da turbulência, σ_v , e a velocidade média do vento, calculando o desvio padrão pela expressão 11.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I \quad (11)$$

Onde:

kI – Coeficiente de turbulência, considerado igual a 1,0;

Tendo já os parâmetros necessários para a determinação da intensidade de turbulência à altura z , esta é estabelecido pela expressão 12 ou 13, consoante a altura do edifício.

Para $Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$

$$I_v(z) = \frac{\sigma v}{v_m(z)} = \frac{kI}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad (12)$$

Para $Z < Z_{\min}$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad (13)$$

Com os parâmetros encontrados anteriormente, estão reunidas as condições para determinar a pressão dinâmica de pico à altura z , $q_p(z)$, que está exposta na expressão 14.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (14)$$

Onde:

ρ – Massa volúmica do ar, considerado 1,25 kg/m³.

Assim, para o caso em estudo, o valor da pressão dinâmica de pico para o alçado sudeste tem uma pressão de 0,78 kPa, e nos restantes alçados da moradia a pressão é de 0,69 kPa.

A pressão dinâmica do vento varia ao longo altura do edifício, sendo que essa variação é sempre crescente consoante o aumento de altura. Dessa forma, para edifícios com grandes alturas é necessário corrigir a pressão dinâmica de pico.

O caso em estudo é de baixa altura sendo que a sua pressão dinâmica do vento não se irá alterar ao longo da sua fachada, o mesmo não acontecerá ao longo do edificado dado que a pressão nas paredes exteriores varia consoante o seu comprimento, como se pode verificar pela Figura 11.

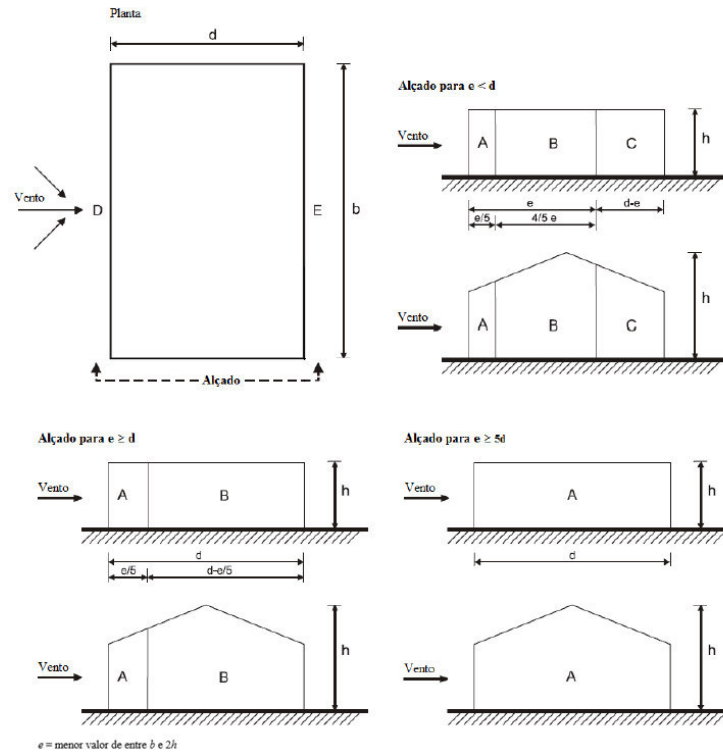


Figura 11 - Zonamento em paredes verticais para ação do vento. ([11], adaptado)

Na Tabela 5 estão estipulados valores recomendados do coeficiente de pressão exterior para fachadas de edifícios de plantas regulares. Através de uma relação entre a altura do edificado e o comprimento que o edifício apresenta relativo ao sentido do vento, é possível determinar o comprimento das zonas que tem diferentes variações de coeficientes de pressão exterior nas paredes verticais. Assim temos os seguintes casos:

$$\text{Alçado Sudeste: } \frac{11}{21,7} = 0,507 \approx 0,51$$

$$\text{Alçado Sudoeste } \frac{8}{21,7} = 0,3687 \approx 0,37$$

$$\text{Alçado Nordeste } \frac{8}{17} = 0,47$$

$$\text{Alçado Noroeste } \frac{8}{17} = 0,47$$

Tabela 5 - Valores de coeficientes de pressão exterior para paredes verticais com coeficientes globais. ([11], adaptado)

Zona	A	B	C	D	E
h/d	Cpe,10	Cpe,10	Cpe,10	Cpe,10	Cpe,10
5	-1,20	-0,80	-0,50	+0,80	-0,70
1	-1,20	-0,80	-0,50	+0,80	-0,50
0,51	-1,20	-0,80	-0,50	+0,74	-0,40
0,47	-1,20	-0,80	-0,50	+0,74	-0,37
0,37	-1,20	-0,80	-0,50	+0,72	-0,33
<=0,25	-1,20	-0,80	-0,50	+0,70	-0,30

Outro fator a ter em conta na pressão exercida pelo vento ao edificado, é o seu efeito no interior do edificado o que irá provocar alterações referente às superfícies, isto é, aos elementos, paredes exteriores e cobertura. Desta forma, a pressão interior dos edifícios podem ser positiva ou negativa, considerando positivas quando esta está com o mesmo sentido oposto ao vento e negativo quando está favorável ao vento, o que poderá agravar ou atenuar a ação. Segundo o regulamento, quando a pressão no interior é considerada positiva esta terá uma ação de +0,2 de coeficiente de pressão, e quando a pressão no seu interior é considerada negativa, esta terá uma ação de -0,3 de coeficiente de pressão. Assim, a pressão exercida pelo vento é a resultante das pressões que é exercida nas faces verticais, isto é, uma pressão atuante sobre a superfície é considerada positiva (+), enquanto uma pressão atuante de afastamento à superfície é considerada negativa (-), como se pode observar na Figura 12.

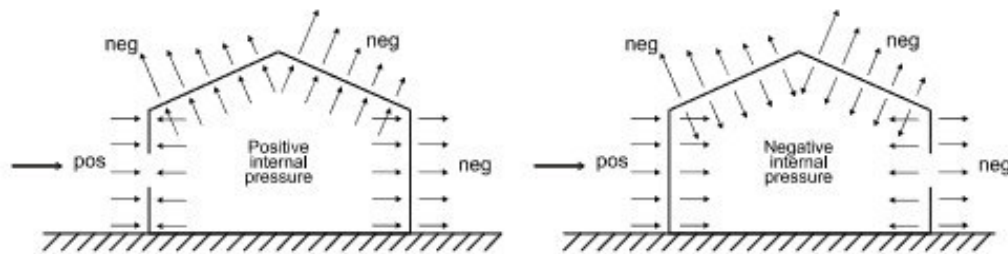


Figura 12 - Pressões exercidas em superfícies [11].

Relativamente ao caso de estudo, nas seguintes Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 estão especificados os valores correspondentes da pressão do vento nas diferentes zonas das paredes verticais das fachadas da moradia.

Tabela 6 - Vento Sudeste (vento a 0°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,78 Kpa)

Zona	A	B	D	E
Coeficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	+0,74	-0,37
Resultante total de Coeficiente pressão	-1,40	-1,00	+0,54	-0,57
Pressão x Pressão dinâmica	-1,09	-0,78	+0,42	-0,44
Valor total arredondado (Kpa)	-1,10	-0,80	+0,45	-0,45

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Tabela 7 - Vento Sudeste (vento a 0°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,78 Kpa)

Zona	A	B	D	E
Coeficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	+0,74	-0,37
Resultante total de Coeficiente pressão	-0,90	-0,50	+1,04	-0,07
Pressão x Pressão dinâmica	-0,70	-0,39	+0,80	-0,06
Valor total arredondado (Kpa)	-0,70	-0,40	+0,80	-0,10

Tabela 8 - Vento Sudoeste (vento a 180°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa)

Zona	A	B	C	D	E
Coeficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	-0,50	+0,72	-0,33
Resultante total de Coeficiente pressão	-1,40	-1,00	-0,70	+0,52	-0,53
Pressão x Pressão dinâmica	-0,96	-0,69	-0,48	+0,36	-0,36
Valor total arredondado (Kpa)	-1,00	-0,70	-0,50	+0,40	-0,40

Tabela 9 - Vento Sudoeste (vento a 180°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa)

Zona	A	B	C	D	E
Coeficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	-0,50	+0,72	-0,33
Resultante total de Coeficiente pressão	-0,90	-0,50	-0,20	+1,02	-0,03
Pressão x Pressão dinâmica	-0,62	-0,35	-0,14	+0,70	-0,02
Valor total arredondado (Kpa)	-0,65	-0,35	-0,15	+0,70	-0,05

Tabela 10 - Vento Nordeste (vento a 90°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa) e Vento Noroeste (vento a 270°, sentido vento positivo, interior positivo, Pd=0,69 Kpa)

Zona	A	B	C	D	E
Coeficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	-0,50	+0,74	-0,40
Resultante total de Coeficiente pressão	-1,40	-1,00	-0,70	+0,54	-0,60
Pressão x Pressão dinâmica	-0,96	-0,69	-0,48	+0,37	-0,41
Valor total arredondado (Kpa)	-1,00	-0,70	-0,50	+0,40	-0,45

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Tabela 11 - Vento Nordeste (vento a 90°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa) e Vento Noroeste (vento a 270°, sentido vento positivo, interior negativo, Pd=0,69 Kpa)

Zona	A	B	C	D	E
Coefficientes de pressão globais	-1,20	-0,80	-0,50	+0,74	-0,40
Resultante total de Coeficiente pressão	-0,90	-0,50	-0,20	+1,04	-0,10
Pressão x Pressão dinâmica	-0,62	-0,35	-0,14	+0,72	-0,07
Valor total arredondado (Kpa)	-0,65	-0,35	-0,15	+0,75	-0,10

Tal como nas paredes verticais, a cobertura também está dividida em zonas em que existe variação de pressões. As zonas estão assim divididas consoante o tipo de cobertura que o edifício apresenta, para o estudo em causa, este possui uma cobertura de quatro vertentes, o que irá implicar uma diferença de zonas na sua cobertura como se pode observar na Figura 13.

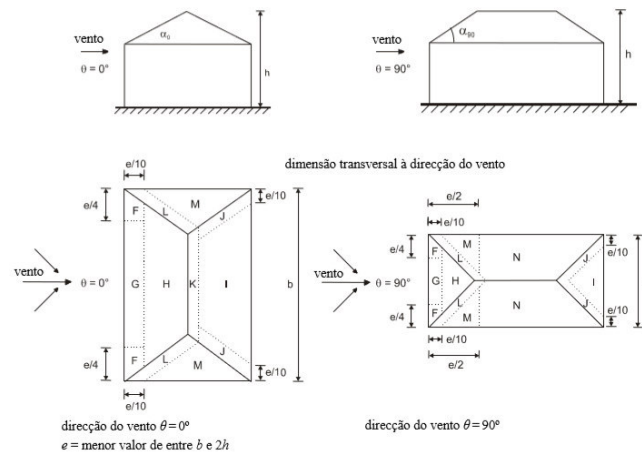


Figura 13 - Zonas de variação de pressão em cobertura de quatro vertentes, [11] adaptado.

Na Tabela 12, está expresso os coeficientes globais e o valor de pressão a que a cobertura está sujeita consoante o seu zonamento.

Tabela 12 - Coeficientes de pressão e resultante pressão do vento na cobertura.

Zona	F	G	H	I	J	K	L	M	N
$\alpha = 22,5^\circ$	+0,35	+0,45	+0,20	-0,45	-0,85	-0,85	-1,40	-0,70	-0,25
Resultante de Int. +	+0,15	+0,25	0,00	-0,65	-1,05	-1,05	-1,60	-0,90	-0,45
Resultante de Int. -	+0,65	+0,75	+0,50	-0,15	-0,55	-0,55	-1,10	-0,40	+0,05
Vento a 0° + (i +) Pd=0,78 Kpa	+0,15	+0,20	0,00	-0,55	-0,85	-0,85	-1,25	-0,70	-0,35
Vento a 0° + (i -) Pd=0,78 Kpa	+0,50	+0,60	+0,40	-0,15	-0,45	-0,45	-0,90	-0,35	+0,05

Vento a 180° + (i +) Pd=0,69 Kpa	+0,10	+0,20	0,00	-0,45	-0,75	-0,75	-1,15	-0,65	-0,35
Vento a 180° + (i -) Pd=0,69 Kpa	+0,45	+0,55	+0,40	-0,15	-0,40	-0,40	-0,80	-0,30	+0,05
Vento a 90° e 270° + (i +) Pd=0,69 Kpa	+0,10	+0,20	0,00	-0,45	-0,75	-0,75	-1,15	-0,65	-0,35
Vento a 90° e 270° + (i -) Pd=0,69 Kpa	+0,45	+0,55	+0,40	-0,15	-0,40	-0,40	-0,80	-0,30	+0,05

Cálculo da ação do Sismo

O cálculo da ação do sismo teve em consideração o Eurocódigo 8 [13].

A ação sísmica varia consoante a sismicidade da localização da estrutura, esta é descrita pelo valor de referência da aceleração máxima na base do terreno, a_{gR} . Para a análise de projeto, existem dois aspetos de exigências fundamentais a ter em conta, o seu não colapso e a sua limitação de danos. O seu não colapso diz respeito à possibilidade de a estrutura ser sujeita à ocorrência de um sísmico raro, esta, não colapsar apesar de poderem ocorrer danos estruturais significativos. Quanto à limitação de danos, este aspeto relaciona-se com a necessidade da ocorrência de um sismo relativamente frequente, em que a estrutura não sofra danos significativos.

A ação sísmica pode surgir através de duas configurações espectrais, espectro tipo 1 para sismo afastado, e espectro tipo 2 para sismo próximo. Nos dois tipos de ação sísmica, o movimento sísmico horizontal e vertical num dado ponto da superfície surge através de um espectro de resposta elástico de aceleração como se pode observar na Figura 14.

Consoante o tipo de terreno, o coeficiente do solo descreve a forma do espectro de resposta elástica, provocando assim diferentes valores dos períodos, T_B , T_C , T_D .

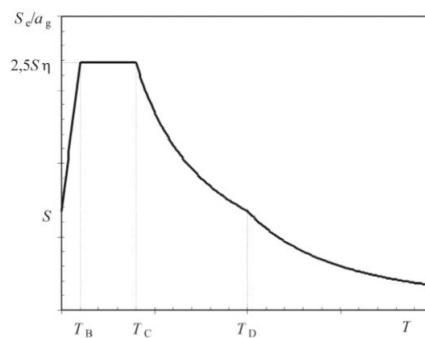


Figura 14 - Forma do espectro de resposta elástica [13].

Onde:

$S_e(T)$ – Espectro de resposta elástica;

T – Período de vibração de um sistema linear;

a_g – valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno;

T_B – limite inferior do período do patamar de aceleração espectral constante;

T_C – limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante;

T_D – valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante;

S – coeficiente de solo;

η – coeficiente de correção do amortecimento com o valor de referencia $\eta=1$ para 5% de amortecimento.

Para o caso em estudo, a sua localização é próxima de leiria, o que conduz a um espectro tipo 1 de 1,5 para sismo afastado, e um espectro tipo 2 de 2,4 para sismo próximo. Quanto ao tipo de terreno caracteriza-se pelo tipo D, “Deposito de solo não coesivos de compacidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura”. Nas seguintes Tabelas 13 e 14 estão apresentados os parâmetros de valores recomendados descrevendo os espectros de resposta elástica do tipo 1 e tipo 2.

Tabela 13 - Valores recomendados para espectros de resposta elástica de tipo 1 [13].

Tipo de Terreno	S	$T_B(S)$	$T_C(S)$	$T_D(S)$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tabela 14 - Valores recomendados para espectros de resposta elástica de tipo 2 [13].

Tipo de Terreno	S	$T_B(S)$	$T_C(S)$	$T_D(S)$
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,3	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

A classe de importância do edificado é um fator relevante, pois existem vários tipos de construção, tendo cada uma o seu valor de utilização, isto é, na ocorrência de um sismo, há construções que se tem de manter operacionais e de utilização como o caso de escolas, hospitais, quartéis de bombeiros. As diferentes classes de importância estão assim divididas da seguinte forma como a Tabela 15 demonstra.

Tabela 15 - Classes e coeficientes de importância para os tipos de construções [13].

Classe de Importância	Tipo de construções	Coef. Importância
I	Edifícios de baixa importância (edifícios agrícolas).	0,8
II	Edifícios correntes não pertencentes a outras categorias	1
III	Edifícios de alguma importância de resistência sísmica tendo em vista as consequências do seu colapso (escolas, instituições).	1,2
IV	Edifícios de extrema importância e fundamentais de socorro a um pós-sismo (Hospitais, quartéis de Bombeiros).	1,4

O coeficiente de importância deverá ter-se em conta no cálculo das combinações sísmicas no qual irá influenciar diretamente o valor da ação sísmica. O caso em estudo trata-se de uma moradia corrente, estando assim inserida na classe de importância de segundo grau. O valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A, a_g , é igual ao valor de referência da aceleração máxima à superfície do terreno, a_{gR} , multiplicado pelo coeficiente de importância. Segundo a norma, o a_{gR} , para a localização de leiria é de $0,6 \text{ m/s}^2$ e de $1,1 \text{ m/s}^2$, para sismicidade tipo 1 e tipo 2 respetivamente.

No dimensionamento de estruturas de betão armado, tem-se em conta a sua classe de ductilidade, que esta está dividida em três classes: baixa, média e alta. A capacidade de ductilidade corresponde à capacidade de dissipação de energia garantindo um comportamento dúctil global da estrutura. Para o caso em estudo adotou-se uma classe de ductilidade baixa.

O coeficiente de comportamento é um dos parâmetros a ter em consideração no momento da definição sísmica, sendo necessário caracterizar o tipo de estrutura em causa. Após a caracterização dos tipos de estrutura corrente utilizada, procede-se ao cálculo do coeficiente de comportamento pela expressão 15.

$$q = q_0 \times k_w \geq 1,5 \quad (15)$$

Onde:

q – coeficiente de comportamento;

q_0 – valor básico do coeficiente de comportamento;

k_w – fator que reflete o modo de rotura.

Quanto às estruturas de classe de ductilidade baixa, a norma define para esta classe de ductilidade um coeficiente de comportamento de no mínimo 1.5, independentemente do tipo de estrutura. O valor de coeficiente de comportamento estabelece a resistência que o dimensionamento corrente normalmente garante.

Cálculo de pré-dimensionamento da Laje maciças

A altura da laje maciça armada nas duas direções pode ser calculada pela expressão 16.

$$h = L/30 \quad (16)$$

Onde:

h – altura da laje;

L – largura maior da laje.

Assim, tendo uma largura de 6,25 m a altura da laje maciça será de 25 cm. Para as lajes armadas em uma direção, como a laje de escadas e varandas a sua altura pode ser calculada mediante a expressão anterior, neste caso com vão igual a 5,30 m a altura da laje de escadas será de 20 cm.

Para o caso em estudo e de modo a ter uma laje uniforme em todo o piso, facilitando assim também o processo em obra, considerou-se utilizar uma laje de 25 cm no piso do rés-do-chão e primeiro andar, para a laje das escadas e teto do primeiro andar laje de 20 cm.

Cálculo de pré-dimensionamento dos Pilares

Para o pré-dimensionamento dos pilares, este resulta através da área do pilar que é necessária para suportar o esforço a que este está sujeito, conforme a expressão 17.

$$A_c \geq N_{sd} / 0,85 f_{cd} \quad (17)$$

Onde:

A_c – Área da secção transversal do pilar;

N_{sd} – Resultante de esforços que estão sobre o pilar;

f_{cd} – Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão.

Combinação de ações

As regras e critérios estabelecidos pelo Eurocódigo, definem a criação de várias combinações e situações que se devem ter em conta em projeto de estruturas. Estas combinações provocaram casos de majoração das ações e minoração das capacidades resistentes dos materiais estruturais, reforçando assim a segurança estrutural do edificado, pois, o valor de cálculo do esforço resistente, terá de ser sempre superior ou igual ao valor de cálculo do esforço atuante. O cálculo do esforço atuante para a verificação da segurança para os estados limites últimos é assim dado pela expressão 18.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (18)$$

Para o cálculo para os estados limites de utilização, estes são definidos pelas seguintes expressões 19, 20 e 21 de combinação de ação.

Combinação característica:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gkj} + \gamma_{Qk1} + \sum_{i > 1} \gamma_{\psi_{0,i}} \cdot Q_{ki} \quad (19)$$

Combinação frequente:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gkj} + \psi_{1,1} \gamma_{Qk1} + \sum_{i > 1} \gamma_{\psi_{2,i}} \cdot Q_{ki} \quad (20)$$

Combinação quase-permanente:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gkj} + \sum_{i > 1} \gamma_{\psi_{2,i}} \cdot Q_{ki} \quad (21)$$

Por fim, para o cálculo através da inserção da ação do sismo, este é dado pela seguinte expressão 22 de combinação de ação.

$$Ed = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_j + \gamma_{AE} AE + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki} \quad (22)$$

Onde:

G_k - Ação permanente;

Q_k - Ação variável;

A_E - Ação Sísmica;

γ_G - Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes;

$\gamma_{Q,1}$ - Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal;

$\gamma_{Q,i}$ - Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento;

γ_{AE} - Coeficiente parcial de segurança da ação sísmica;

Ψ_{p1} - Coeficiente de combinação da ação variável principal;

Ψ_{ai} - Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento.

4. Modelação estrutural

Contendo já os dados dos materiais e dimensões dos elementos estruturais, assim como a sua localização, e os valores das ações a que a estrutura irá estar sujeita, deu-se início à modelação estrutural.

Em ambos os softwares a modelação foi feita através da inserção de dados consoante a sua localização sem o apoio da exportação de um ficheiro CAD.

Em seguida irá ser abordada a descrição e passos realizados nas modelações estruturais para o caso em estudo nos dois softwares de cálculo automático.

4.1. Modelação estrutural em Cypecad

A aprendizagem do manuseamento deste software foi realizada de forma predominantemente autodidática com acompanhamento do supervisor. Recorreu-se também a vídeos de tutorias disponibilizados no website da Top-informática, fornecedor do software, assim como vídeos no Youtube.

Ao iniciar a modelação no software Cypecad, um fator preliminar é a colocação dos dados da obra, nomeadamente a descrição que se pretende dar, as normas que se pretendem seleccionar na sua base de dados, o tipo de betão para os diferentes elementos da estrutura, o tipo de aço, as ações consideradas, o número de níveis a criar de acordo com as suas alturas, entre outros dados, conforme se pode observar na Figura 15, retirada do software de cálculo.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Dados obra

Chave: Casa Dr. Paulo

Descrição: Casa Dr. Paulo

Normas: Eurocódigo 2, Eurocódigos 3 e 4, Eurocódigo 5 e Eurocódigo 9

Betão armado

Betão

Lajes: C25/30

Fundação: C25/30

Pilares: C25/30

Muros: C25/30

Características do agregado: Calcário (15 mm)

Aço

Varões: S-400

Pernos: A-4t

Perfis

Aço

Laminados e compostos: Fe360

Enformados: Fe 360

Madeira

Serrada, procedente de coníferas ou chopos - C14

Alumínio extrudido

EN AW-5083 - F

Acções

Carga permanente e sobrecarga

☒ Com acção do vento Eurocódigo 1 (Portugal)

☒ Com acção sísmica NP EN 1998-1 (2010) (Portugal)

Critério de armadura por ductilidade: Ductilid. baixa

Elementos construtivos: Não são considerados

☐ Verificar resistência ao fogo

Estados limite (combinações)

Acções adicionais (cargas especiais)

Coeficientes de encurvadura

Pilares de betão e mistos

Bx 1.000 By 1.000

Pilares de aço

Bx 1.000 By 1.000

Ambiente

Vigas: XC1 (Abertura máxima de fenda: 0.40 mm)

Aceitar

Figura 15 - Menu de dados da obra, retirado do software Cypecad.

Através da introdução dos elementos estruturais com as dimensões das secções calculadas anteriormente no pré-dimensionamento e sua respetiva localização, cria-se a modelação estrutural desejada, como se pode observar pela Figura 16 em forma tridimensional.

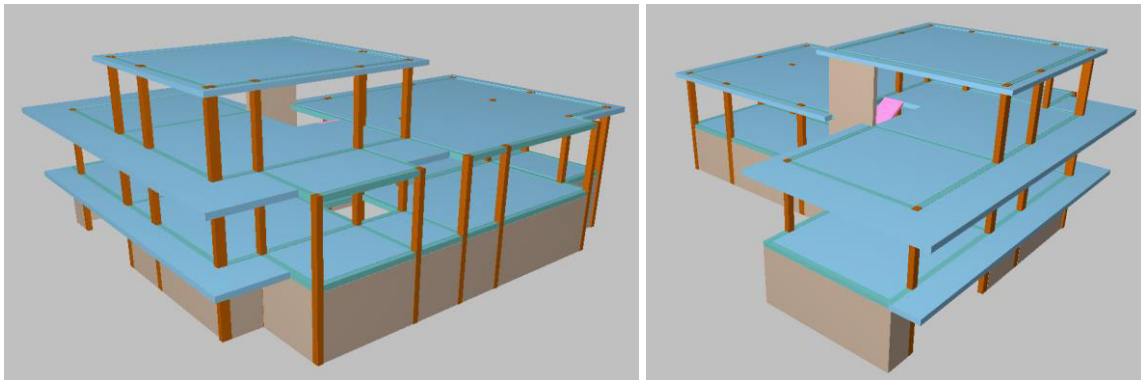


Figura 16 - Modelação estrutural final em 3D, retirado do software Cypecad.

4.1.1. Ações permanentes e sobrecargas

Ao seleccionar a opção “cargas permanentes e sobrecargas”, conforme ilustra a Figura 15, irá aparecer uma nova introdução gráfica para editar os valores das ações, conforme a Figura 17 ilustra, onde se pode editar grupos, para o tipo de utilização em cada piso e as ações de sobrecargas e cargas permanentes em cada nível.

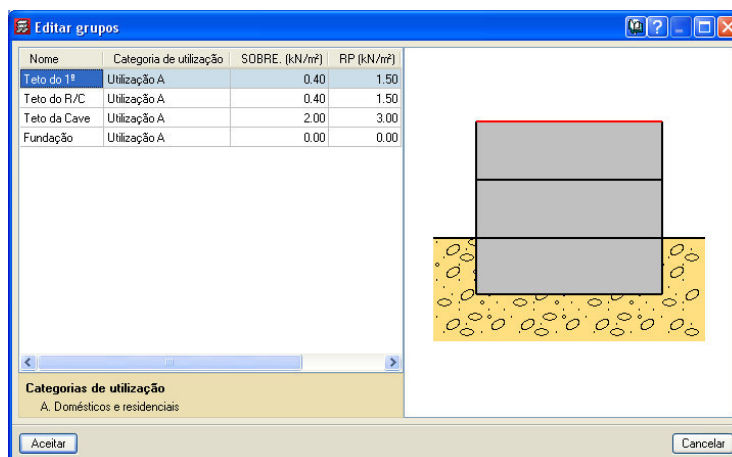


Figura 17 - Menu de edição de grupos para introdução das cargas permanentes e sobrecargas, retirado do software Cypecad.

Não sendo possível fazer a divisão de cargas por zonas, colocou-se ao nível da laje o menor valor de sobrecargas e restantes cargas permanentes, adicionando posteriormente carga nas zonas e locais específicos, para que o modelo estrutural tivesse segundo a regulamentação, conforme se pode observar na Figura 18.

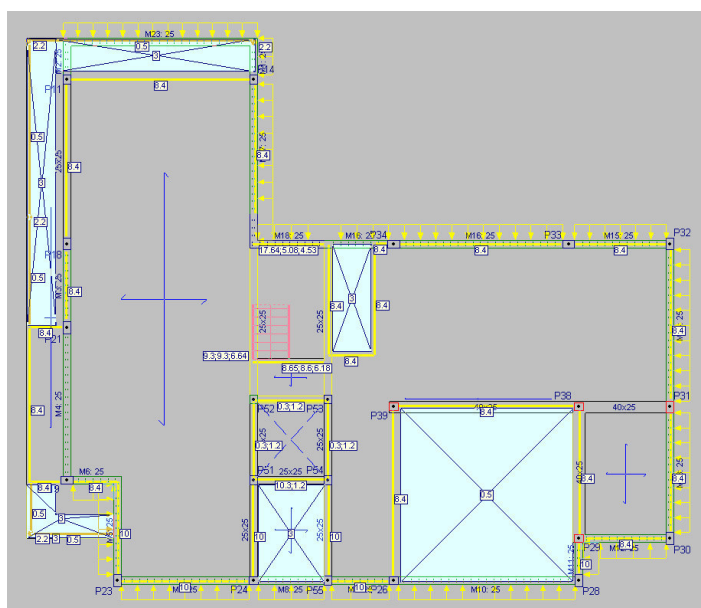


Figura 18 - Adição de cargas consoante os espaços de serviço, planta R/C, retirado do software Cypecad. (sem escala)

Ação do Impulso de terras

Quanto à ação do impulso de terra, apenas se sabe que é um terreno com fraca qualidade, sendo que se adotaram valores característicos de terrenos similares onde a moradia será implantada. De lembrar que a moradia apenas está enterrada em três dos seus alçados, devido a isso, o impulso de terra foi posicionado na modelação estrutural de igual forma como a ação que a moradia irá estar sujeita. A Figura 19 ilustra a ação do impulso de terra no elemento estrutural.

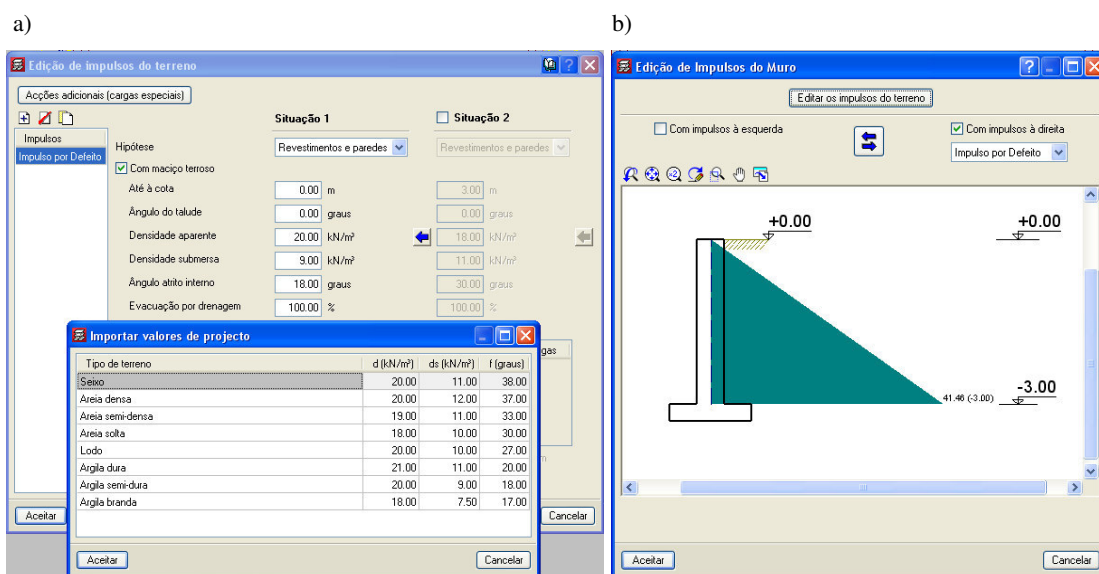


Figura 19 - a) Menu de edição do impulso do terreno; b) Menu de edição de Impulso do muro; retirado do software Cypecad.

Adição das Escadas

Ao seleccionar a opção para inserir as escadas na modelação, esta apresenta uma interface gráfica onde se pode editar a geometria desejada, assim como as cargas que este elemento está sujeito. Ainda na interface gráfica de edição do núcleo de escadas existe a opção “Tramos”. Nesta opção, define-se a tipologia de escadas que se deseja, o número de degraus e o apoio de suporte às escadas, como se pode observar na Figura 20.

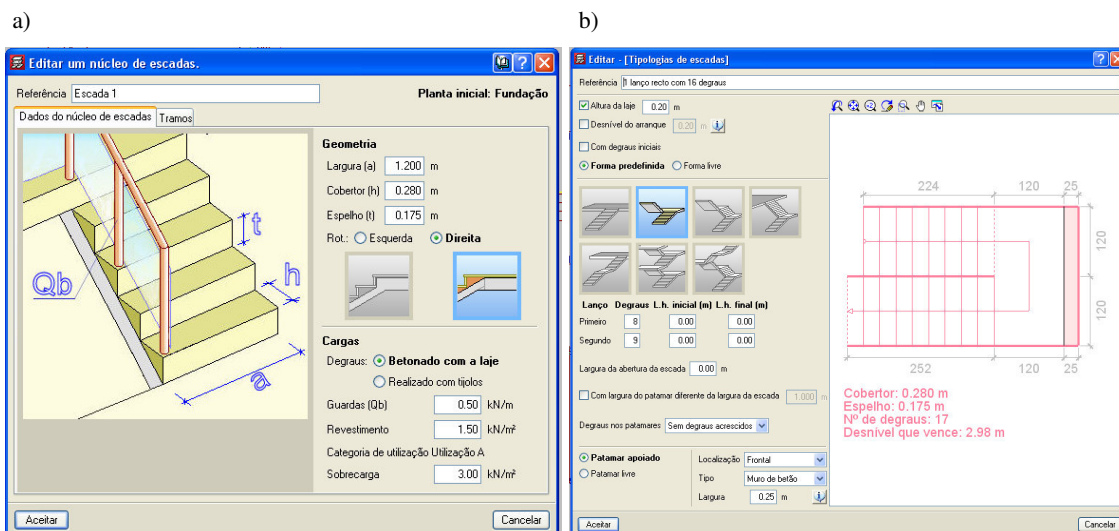


Figura 20 - a) Menu de edição do núcleo de escada; b) Menu da tipologia de escadas; retirado do software Cypecad.

4.1.2. Ação do vento

Quanto à análise de vento no modelo estrutural do edifício, o software de cálculo automático Cypecad, selecionou-se a opção referente ao Eurocódigo 1 “Ações em estruturas” inserido na sua base de dados.

Como visto anteriormente, a moradia situa-se na zona A, o que de imediato nos indica que a sua incidência do vento é de 27 m/s, estando o terreno situado numa categoria III “Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo, zonas suburbanas, florestas permanentes) ”.

Para a introdução do vento na modelação automática procedeu-se à colocação dos seguintes dados, como pode ser observado na Tabela 16 e Figura 21.

Tabela 16 - Largura das bandas na moradia.

Planta	Largura da banda y (m)	Largura da banda x (m)
Cave	17,05	21,70
R\C	17,05	21,70
1ºAndar	8,25	9,15

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

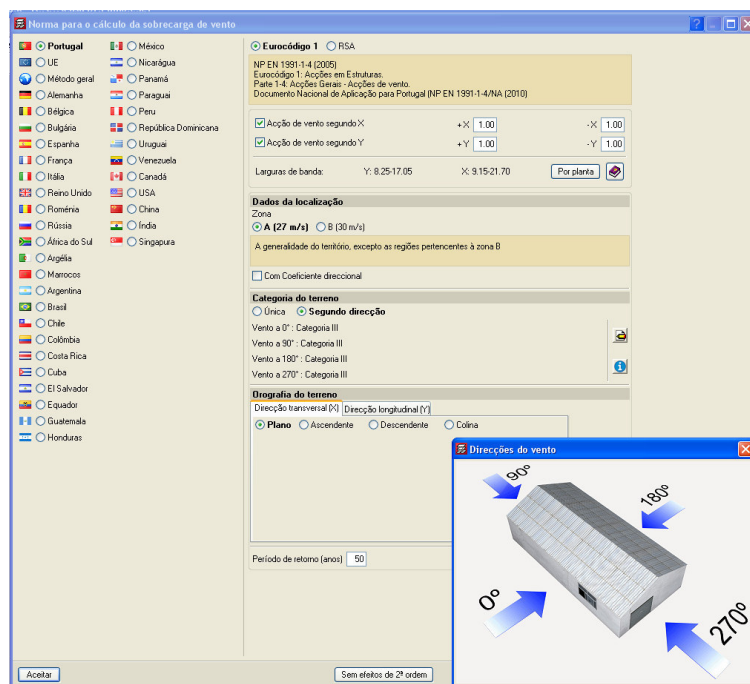


Figura 21 - Menu de seleção de dados para o cálculo da ação do vento, retirado do software Cypecad.

Para a introdução do vento na modelação manual, procedeu-se à adição de novas ações, referente aos sentidos do vento e respetivos valores de carga na cabeça dos pilares como se pode observar na Figura 22.



Figura 22 - a) Adição da ação do vento; b) respetivos valores de carga na cabeça dos pilares, retirado do software Cypecad.

4.1.3. Ação da neve

Quanto à ação da neve na modelação, esta pode ser inserida de forma manual ou automática. Para a colocação de neve automática esta é introduzida pelo software consoante a altura a que está o edifício, como se pode observar na Figura 23.

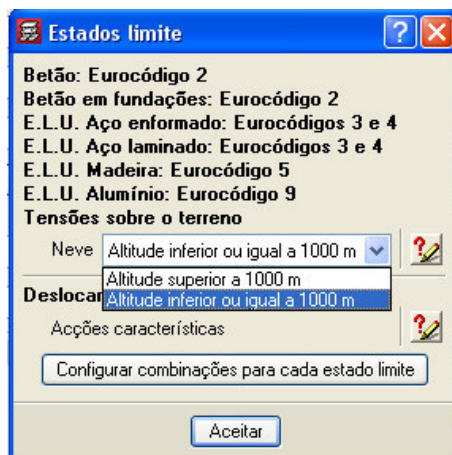


Figura 23 - Carga da ação da neve de forma automática, retirado do software Cypecad.

Para a introdução da ação da neve de forma manual esta terá de ser colocada em forma de carga superficial em laje, colocando o valor pretendido e seleccionando a hipótese de “Neve”, como se pode observar na Figura 24.

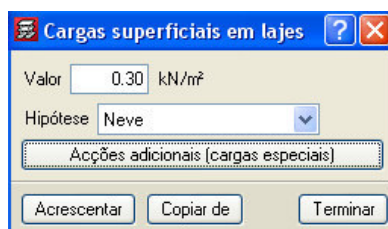


Figura 24 - Carga da ação da neve de forma manual, retirado do software Cypecad.

4.1.4. Ação do sismo

Para a análise da ação sísmica no modelo estrutural do edifício, seleccionou-se o Eurocódigo 8 [13] inserido na sua base de dados. Um dos parâmetros iniciais a ser inserido da interface gráfica é o parâmetro de coeficiente de comportamento em que o seu valor será de 1,5, calculado anteriormente.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Para o parâmetro de zonamento sísmico, o software fornece o mapa do território nacional, remetendo ao utilizador a escolha do local da obra, concluindo assim os valores de sismicidade tipo 1 e tipo 2 para o local em causa, como se pode observar na Figura 25.

Figura 25 - Valores para o cálculo da ação sísmica, retirado do software Cypecad.

Assim a sismicidade para a zona de local da obra, Leiria, revelaram-se com valores de 1,5 e 2,4 respetivamente para sismo tipo 1 e sismo tipo 2, como se pode verificar na Figura 26.

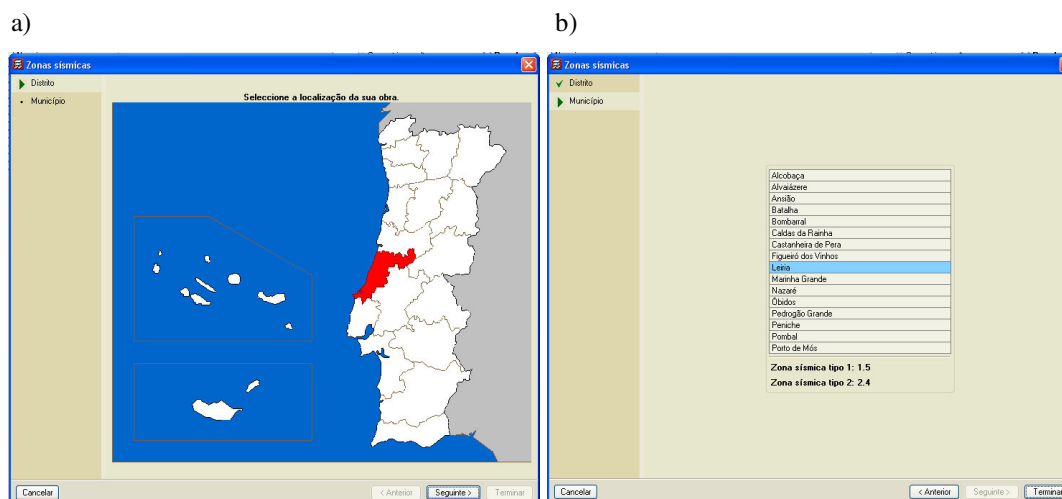


Figura 26 - a) Zona Sísmica consoante o distrito; b) Zona Sísmica consoante o município; retirado do software Cypecad.

Quanto ao critério de armadura por ductilidade, admitiu-se que a estrutura é concebida com ductilidade baixa pois trata-se de uma pequena moradia onde a capacidade de um elemento estrutural se deformar é reduzida o que não irá implicar acréscimos de tensão.

Quanto ao tipo de solo, este classificou-se como Solo tipo D “Depósitos de solos não coesivos de compacidade baixa a media (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos e de consistência mole a dura”, pois o edifício está situado num solo argiloso e que não tem um esqueleto granular que lhe confina boas propriedades resistentes.

A categoria da obra está classificada como categoria II, uma vez que se trata de um edifício corrente e não pertencendo a nenhuma outra categoria. Os modos de vibração devem atingir uma percentagem de 90% de massa deslocada.

4.1.5. Combinação de Ações

Para o caso do software Cypecad, este aplica todas as combinações de ação de acordo com o Eurocódigo 2 [12], que está inserido na sua base de dados. O utilizador pode usar essa opção como ilustra a Figura 27 ou, editando as combinações e os seus coeficientes como pretender, como se pode observar nas figuras 28, 29 e 30.

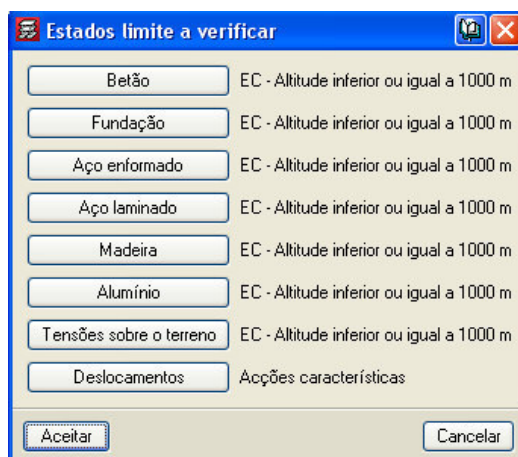


Figura 27 - Combinações automáticas para verificação para os estados limites, retirado do software Cypecad.

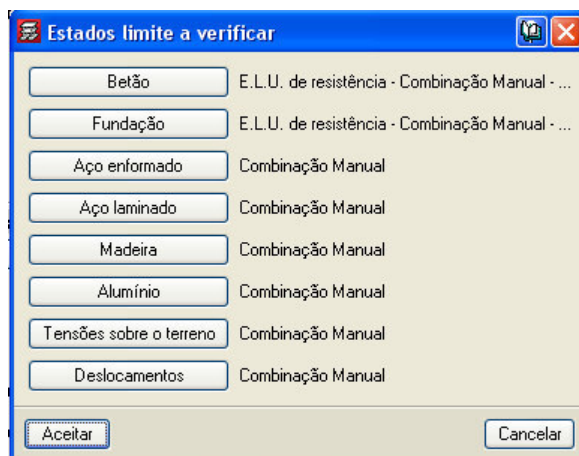


Figura 28 - Combinações manuais para verificação para os estados limites, retirado do software Cypecad.

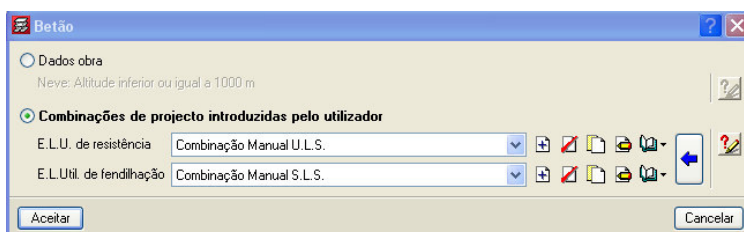


Figura 29 - Seleção de combinações através dos dados obra ou introduzidas pelo utilizador, retirado do software Cypecad.

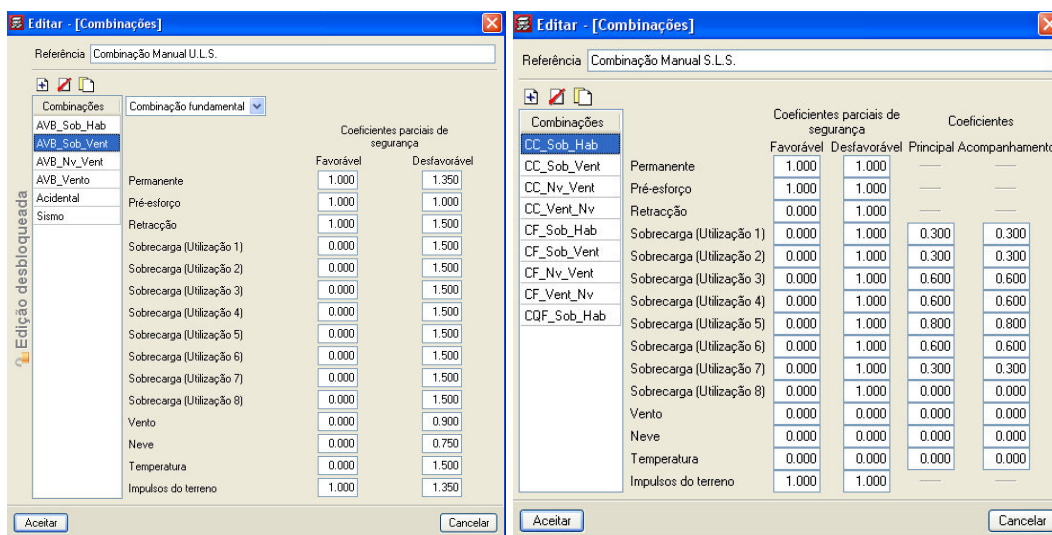


Figura 30 - Edição dos coeficientes para as combinações dos Estados Últimos, retirado do software Cypecad.

4.2. Modelação estrutural em ROBOT

Relativamente ao segundo software de cálculo, o estagiário já estava mais familiarizado, pois já tinha realizado alguns trabalhos para âmbito académico.

Para o desenvolvimento estrutural do modelo, seleccionou-se a opção “casca” disponibilizado no ambiente estabelecido como modelo, na qual, uma das principais características deste modelo escolhido é ter em conta o efeito da deformação transversal das barras.

Com as coordenadas de localização dos elementos conforme o projeto e as dimensões calculadas no pré-dimensionamento procedeu-se à modelação estrutural através da inserção de nós, barras e painéis, conforme se pode observar pela Figura 31.

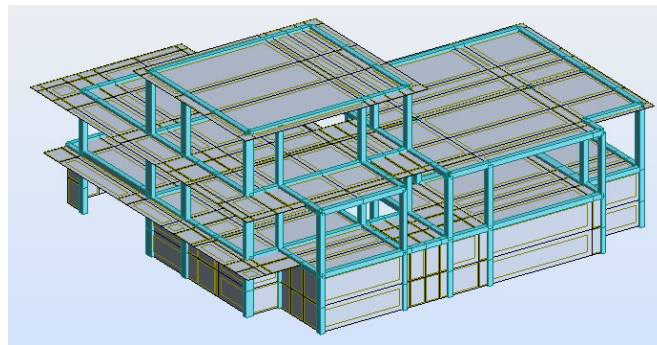


Figura 31 - Modelação estrutural em 3D, retirado do software Robot.

Após ter a modelação estrutural concluída passou-se à discretização dos elementos estruturais, criando assim uma malha de elementos. Este passo foi realizado de forma manual, seleccionando cada painel de modo a fornecer resultados com um nível de precisão aceitável, conforme a Figura 32.

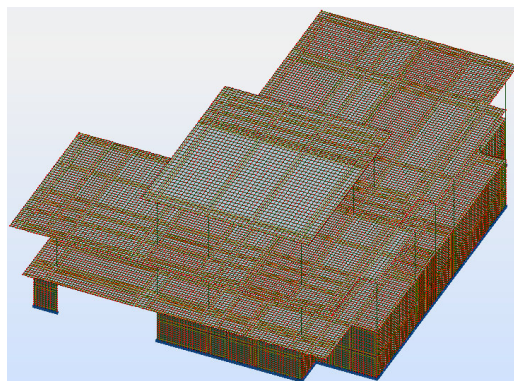


Figura 32 - Modelação estrutural em 3D através da discretização de elementos, retirado do software Robot.

4.2.1. Ações permanentes e sobrecargas

As ações de cargas aplicadas, nomeadamente as cargas permanentes e sobrecargas, foram inseridas na modelação conforme a sua ação, isto é, por metro quadrado, metro linear ou carga pontual. De referir que o software cria automaticamente o peso próprio da modelação consoante as dimensões dos elementos e os materiais selecionados.

Ação do Impulso de terras

Para a introdução do impulso de terras, procedeu-se a adição de uma carga triangular no painel que representa o muro de suporte, para ambos os modelos estruturais com a carga calculada anteriormente para esta ação.

Adição das Escadas

A introdução de escadas para este tipo de software procedeu-se através da criação de painéis. Sobre os painéis foram então posteriormente colocados todos os tipos de carga que a escada irá estar sujeita. Realizou-se o mesmo procedimento para ambos os modelos estruturais realizados neste tipo de software.

4.2.2. Ação do vento

Para a ação do vento houve a necessidade de criar um plano virtual com recurso à ferramenta “*cladding*”, esta ferramenta distribui as cargas pelas barras nas duas direções. O plano virtual irá simular as paredes exteriores e o telhado na modelação, este plano não irá incrementar uma nova carga de ação permanente na modelação, pois este tipo de ferramenta apenas serve de objeto auxiliar para a definição de cargas, como por exemplo a ação do vento na modelação, como se pode observar na Figura 33.

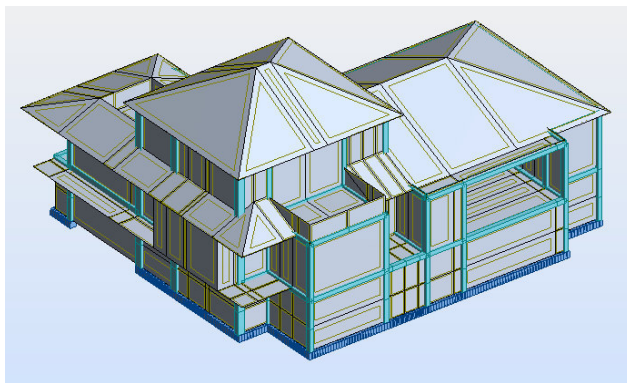


Figura 33 - Modelação estrutural com cladding, retirado do software Robot.

Para a introdução da ação do vento na modelação de forma manual, a sua adição foi através da criação dos tipos de carga para as várias direções do vento, introduzindo valores de carga aplicados na modelação que foram calculados anteriormente. De relembrar que a ação do vento nas paredes e cobertura varia consoante a zona do edifício, provocando diferentes pressões ao longo da estrutura. No caso das paredes exteriores, como estavam subdivididas por vários planos, foi possível aplicar as diferentes cargas às diferentes zonas. No entanto, no caso da cobertura, o mesmo não aconteceu, aplicando o maior valor de carga calculada em toda a zona da cobertura.

Para a introdução da ação do vento na modelação de forma automática, a sua adição foi através da opção disponibilizada pelo software, conforme a Figura 34.

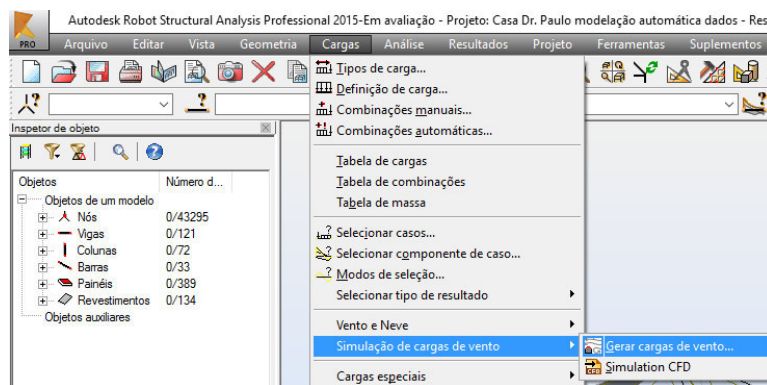


Figura 34 - Criação de cargas de vento através da sua simulação, retirado do software Robot.

Para esta opção basta o utilizador escolher a área de incidência da ação na modelação, bem como, a direção do vento que se pretenda simular e a velocidade do vento, conforme a figura 35.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

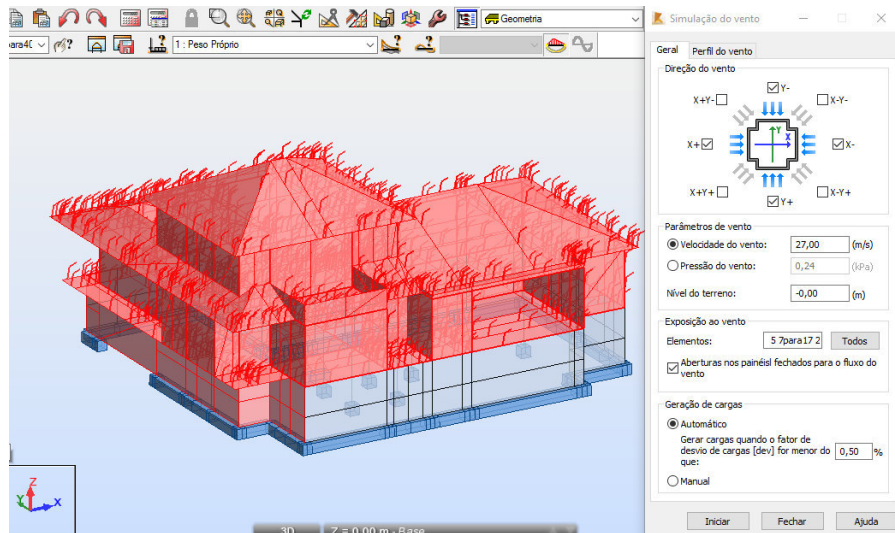


Figura 35 - Área de incidência do vento na edificação, retirado do software Robot.

Concluída a introdução de dados necessários para a criação da simulação do vento de forma automática, conforme a figura anterior, deu-se início à simulação do vento contendo os seguintes aspetos gráficos, como se pode observar na Figura 36.

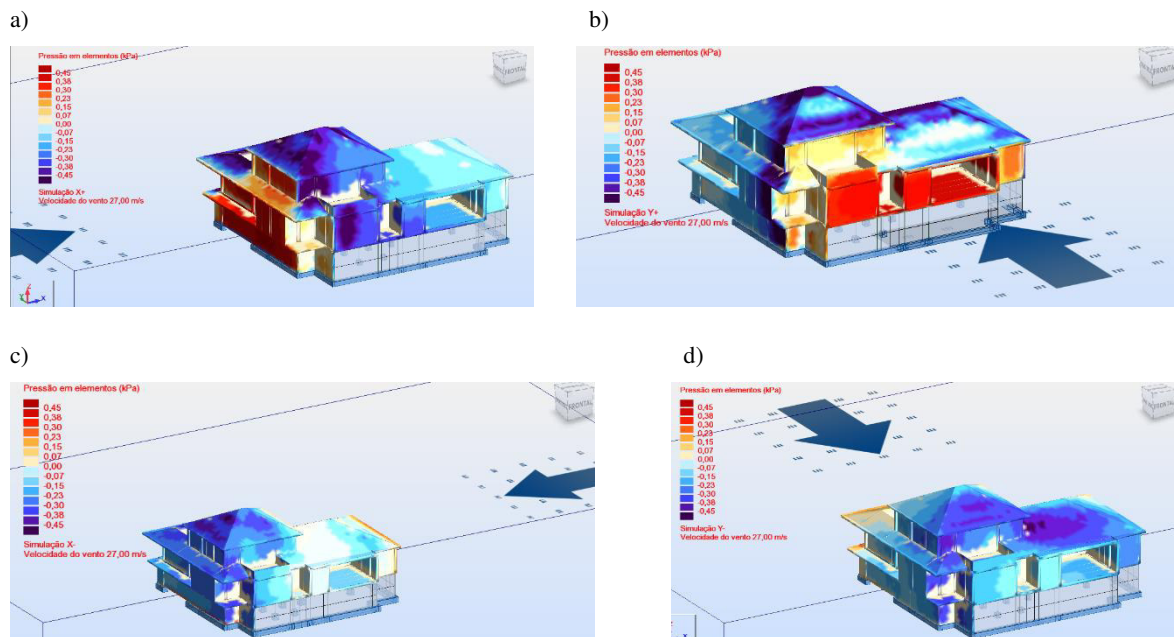


Figura 36 - a) Pressão do vento a 0° na moradia; b) Pressão do vento a 90° na moradia; c) Pressão do vento a 180° na moradia; d) Pressão do vento a 270° na moradia; retirado do software Robot.

4.2.3. Ação da neve

A aplicação da ação da neve para as modelações foram introduzidas manualmente, isto é, através da criação do tipo de carga e aplicando a carga correspondente em todos os painéis sujeitos a essa ação. Tanto para a modelação manual como para a modelação automática foi realizado o mesmo processo, visto não ser possível a sua colocação da ação da neve na modelação de forma automática.

4.2.4. Ação do sismo

Na ação do sismo, o cálculo é realizado conforme a análise modal com a resposta dinâmica da estrutura obtida através da sobreposição modal, utilizando os espectros de resposta consoante a localização sísmica do edificado conforme o Eurocódigo 8 [13], calculado anteriormente no capítulo 3.2. Na Figura 37 pode ser observado o menu de dados para a análise modal.

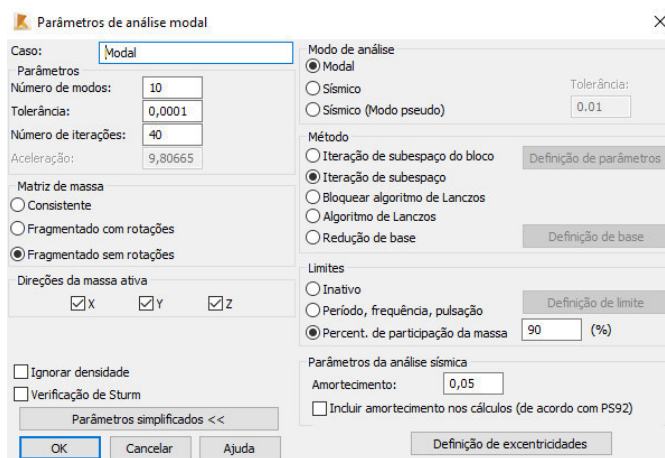


Figura 37 - Menu de parâmetros de análise modal, retirado do software Robot.

4.2.5. Combinação de Ações

Para o caso do software Robot, as combinações podem ser inseridas pelo utilizador de forma manual ou de forma automática.

Para a aplicação de Combinações de forma manual o utilizador pode inserir seguindo a opção de “Combinações manuais”, selecionando de seguida uma nova combinação e o seu

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

tipo de combinação pretendida bem como o fator que pretende dar aos tipos de carga inseridos anteriormente na modelação, como se pode observar na Figura 38.

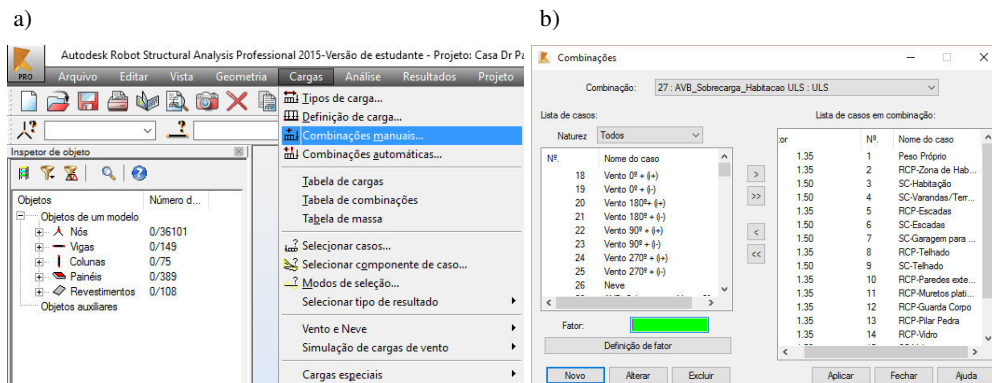


Figura 38 - a) Combinações manuais; b) Edição do fator para os tipos de carga; retirado do software Robot.

Para a aplicação de combinações de forma automática o utilizador segue a opção de “Combinações automáticas” disponibilizado no software, escolhendo de seguida a norma para as combinações inserida na sua base de dados. Na opção “mais” é possível ao utilizador escolher os tipos de combinações pré-definidos para a sua geração, e na opção “OK” o software depois de submetido ao cálculo incorporará as combinações estabelecidas na sua análise. O software também faz a estimativa do número de combinações novas que irão ser geradas, sendo que para a modelação criada esse número foi de 73 novas combinações, como se pode observar na Figura 39.

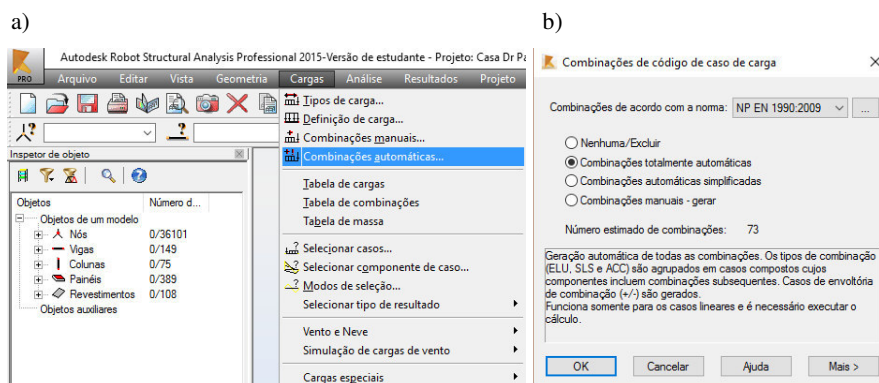


Figura 39 - a) Combinações automáticas; b) Geração automática de todas as Combinações; retirado do software Robot.

5. Análise comparativa de resultados

Este capítulo dá ênfase aos efeitos das cargas e das ações nas estruturas para os modelos estruturais, realizados em ambos os softwares de cálculo automático, bem como a respetiva análise de resultados ao nível dos esforços na secção de alguns tipos de elementos estruturais após o cálculo da estrutura.

Devido à grande extensão de resultados são apenas comparados alguns elementos estruturais, elementos que se localizam em zonas da estrutura mais solicitada ou de carácter de interesse.

Assim, nos seguintes subcapítulos pode observar-se os resultados de dois pilares, pilar 4E e o pilar 3A e duas vigas que se situam no interior do edificado, viga 2 e a viga 5 situadas ao nível do teto da cave. Foram ainda analisados os esforços ao nível da laje do piso do rés-do-chão e dois muros, mais concretamente a parede resistente (Muro 20), que se inicia na fundação até ao teto do 1ºAndar e o Muro 4, este de menores dimensões. Após a recolha de todos os resultados referentes aos esforços de cada elemento, elaborou-se uma tabela de síntese com todos os resultados recolhidos e a diferença face aos modelos estruturais realizados em cada software, bem como a sua análise.

Não se considerou a análise de escadas devido à inserção de escadas na modelação dos dois softwares de análise ser bastante diferente, isto é, o utilizador no software Cypecad introduz as escadas definindo o número e altura de degraus e tipologia de escada, para o software Robot este é apenas introduzido um painel simulando uma laje inclinada com a espessura desejada.

5.1. Análise comparativa dos pilares

Como referido na abertura do respetivo capítulo, a análise de resultados que se segue corresponde ao pilar 4E e pilar 3A, respetivamente. Os pilares escolhidos ficam situados no centro da moradia e num dos cantos da moradia, respetivamente.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

A sua extração de dados para estes elementos estruturais foi a nível do seu esforço axial e momento fletor em ambas as direções x e y.

As Figuras 40 e 41 foram criadas no software AutoCAD, para uma melhor interpretação dos diferentes resultados de valores de esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

Pilar 4E

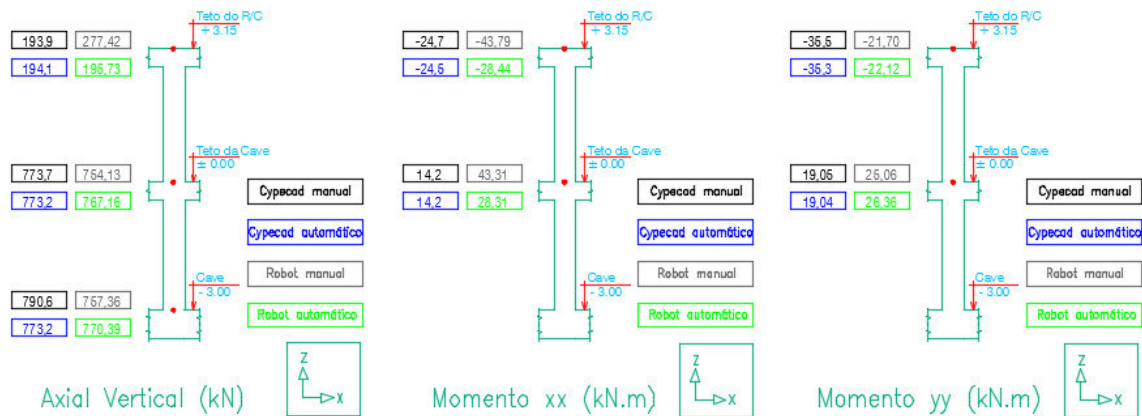


Figura 40 - Síntese dos resultados de esforços dos vários modelos estruturais realizados para o Pilar 4E.

Tabela 17 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Pilar 4E.

Modelo Secção	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Cave (-3,00) Axial Vertical (kN)	770,39	773,2	757,36	790,60
Diferença (%)	0,36		4,13	
Teto da cave (0,00) Mxx. (kN.m)	28,31	14,20	43,31	14,20
Diferença (%)	49,84		67,21	
Teto do R/C (+3,15) Mxx. (kN.m)	-28,44	-24,60	-43,79	-24,70
Diferença (%)	13,50		43,59	
Teto da cave (0,00) Myy. (kN.m)	26,36	19,04	25,06	19,05
Diferença (%)	27,77		23,98	
Teto do R/C (+3,15) Myy. (kN.m)	-22,12	-35,30	-21,70	-35,50
Diferença (%)	37,34		38,31	

Os pilares centrais por norma são suscetíveis a estarem sujeitos a maiores esforços [15]. No caso do pilar em análise este, uma vez que se situa junto à garagem irá sofrer ações mecânicas imprevistas pelo software, isto é, ação devido à circulação de veículos na garagem. Este é um dado relevante na altura do dimensionamento de forma a reforçar a resistência do elemento.

Quanto aos resultados expostos na tabela anterior, pode observar-se que existem alguns valores com percentagens elevadas de discrepância na diferença entre softwares, isto verifica-se sobretudo no momento fletor em xx na secção do teto da cave.

Analisando mais pormenorizadamente as diferenças em cada secção, no esforço axial vertical, este verifica-se praticamente nulo, isto é, o resultado na base do pilar é praticamente igual em todos os modelos realizados, existindo até uma diferença inferior a 1% nos dois modelos realizados de forma automática. Quanto ao momento fletor na direção x ao longo do elemento, verifica-se grande proximidade de valores entre os dois modelos realizados de forma automática e de forma manual do software Cypecad, contendo o modelo manual em Robot um valor ligeiramente superior aos restantes modelos. Para o momento fletor na direção x, como já foi referido, é o que apresenta maiores diferenças de esforços, contudo os valores dos modelos realizados no software Cypecad apresentam valores iguais, havendo discrepância nos modelos realizados no software Robot. Relativamente aos valores verificados para o momento fletor na direção y, tanto nos momentos positivos como negativos, os valores verificados são praticamente iguais para os modelos realizados no mesmo software, contudo com valores afastados na comparação do mesmo modelo nos diferentes softwares.

Pilar 3A

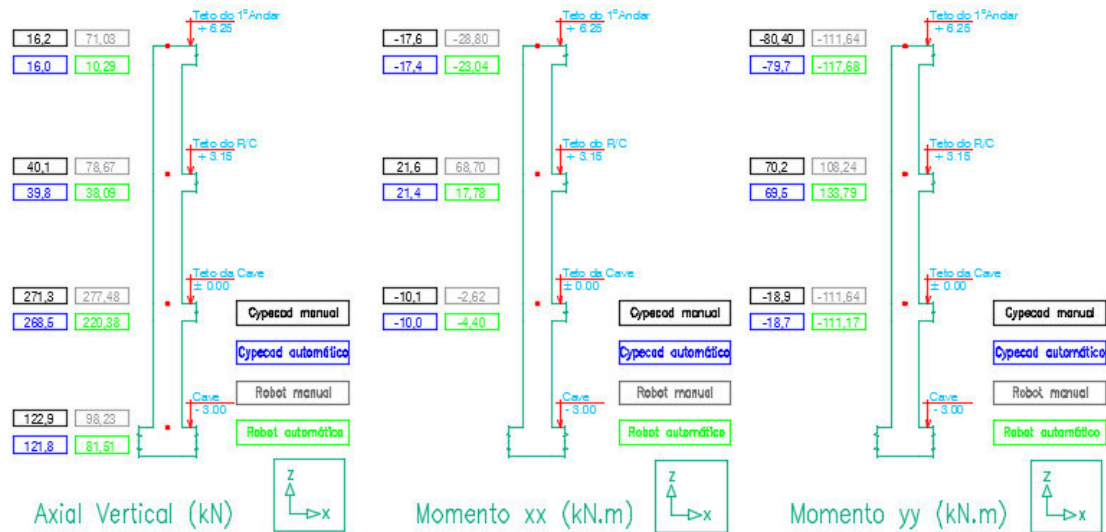


Figura 41 - Síntese dos resultados de esforços dos vários modelos estruturais realizados para o Pilar 3A

Tabela 18 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Pilar 3A.

Modelo Secção	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Cave (-3,00) Axial Vertical (kN)	220,38	268,50	277,48	271,30
Diferença (%)	17,92		2,23	
Teto do R/C (+3,15) Mxx. (kN.m)	17,78	21,40	68,70	21,60
Diferença (%)	16,92		68,56	
Teto do 1º Andar (+6,25) Mxx. (kN.m)	-23,04	-17,40	-28,80	-17,6
Diferença (%)	24,48		38,89	
Teto do R/C (+3,15) Myy. (kN.m)	133,79	69,50	108,24	70,20
Diferença (%)	48,05		35,14	
Teto do 1º Andar (+6,25) Myy. (kN.m)	-117,68	-79,70	-111,64	-80,40
Diferença (%)	32,27		27,98	

O pilar 3A situado junto ao canto da moradia, assim está mais sujeito ao esforço devido à ação sísmica e aos seus efeitos de torção.

Quanto aos resultados apresentados na tabela anterior, pode observar-se que no esforço axial vertical, em todos os modelos dão valores muito próximos, exceto o modelo automático realizado no software Robot, também se pode observar que o valor axial é menor na cave que no teto da cave, isto deve-se ao muro de suporte que absorve esforço e está situado entre estes dois níveis. Para o momento fletor na direção x, tanto no momento positivo máximo como no mínimo os resultados para os valores nos modelos em Cypecad são praticamente iguais, havendo divergência nos modelos realizados em Robot sendo acentuado no modelo manual. Nos momentos fletores na direção y, nos valores máximos e mínimos também se verifica muita similaridade entre os modelos realizados em Cypecad, tendo os modelos em robot valores mais agravantes para este tipo de esforço.

5.2. Análise comparativa de vigas

Como referido na abertura do respetivo capítulo, a análise de resultados que se segue corresponde à viga 2 e viga 5.

As vigas escolhidas situam-se mais concretamente ao nível da laje do Rés-do-chão, uma das quais localizada na zona inferior da garagem e o outro junto às escadas que dá acesso aos respetivos pisos da moradia.

A sua extração de dados para estes elementos estruturais foi a nível do seu esforço transversal e o seu momento fletor na direção yy.

As seguintes Figuras 42 e 43 foram criadas no software AutoCAD para uma melhor interpretação dos diferentes resultados de valores de esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

Viga 2

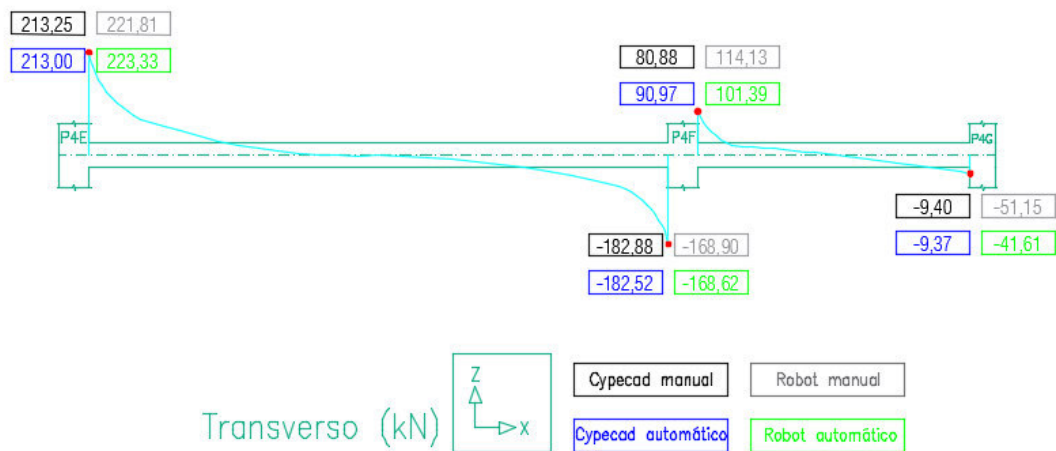


Figura 42 - Síntese dos resultados do esforço transverso dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 2 do R/C.

Tabela 19 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para a viga 2.

Modelo Secção	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Transverso P4E (kN)	223,33	213,00	221,81	213,25
Diferença (%)	4,63		3,86	
Transverso Negativo P4F (kN)	-168,62	-182,52	-168,90	-182,88
Diferença (%)	7,62		7,64	
Transverso Positivo P4F (kN)	101,39	90,97	114,13	80,88
Diferença (%)	10,28		29,13	
Myy Máx. (kN.m)	14,78	23,80	14,62	23,81
Diferença (%)	37,90		38,60	
Myy P4E (kN.m)	-57,24	-54,64	-57,83	-54,64
Diferença (%)	4,54		5,51	
Myy P4F (kN.m)	-50,42	-54,81	-50,56	-54,89
Diferença (%)	8,01		7,89	

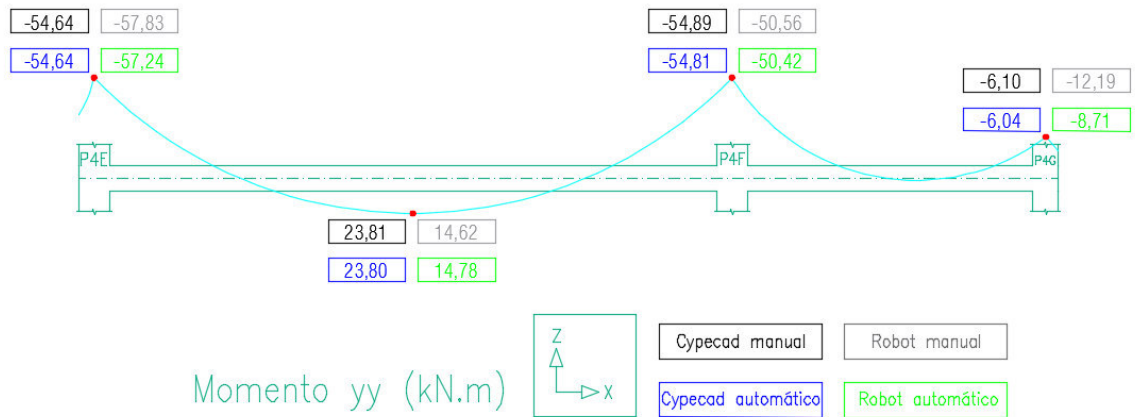


Figura 43 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 2 do R/C.

Os resultados recolhidos para a viga 2 entre os diversos modelos revelam que existe grandes semelhanças de esforços entre todos os modelos, sendo a sua diferença entre resultados não superior a 10%, à exceção do esforço no momento fletor máximo na direção y, em que, a diferença entre os softwares se observou ser maior. Na Tabela 18, também é notória a igualdade de esforços nos modelos realizados no mesmo software.

Através da observação das figuras pode constar-se que o transverso máximo e mínimo ao longo da viga, corresponde em todos os modelos sobre os pilares P4E e P4F respetivamente, o mesmo não se verifica no momento fletor, sendo que no software Cypecad o máximo negativo se situa sobre o Pilar 4F e no software Robot se situa sobre o Pilar 4E.

As seguintes Figuras 44 e 45 foram criadas no software AutoCAD para uma melhor interpretação dos diferentes resultados de valores de esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

Viga 5

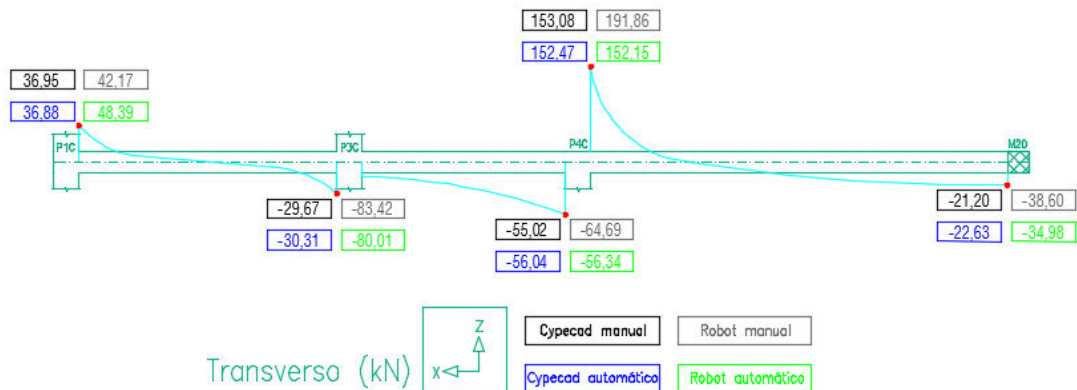


Figura 44 - Síntese dos resultados do esforço transversal dos vários modelos estruturais realizados para a Viga 5 do R/C.

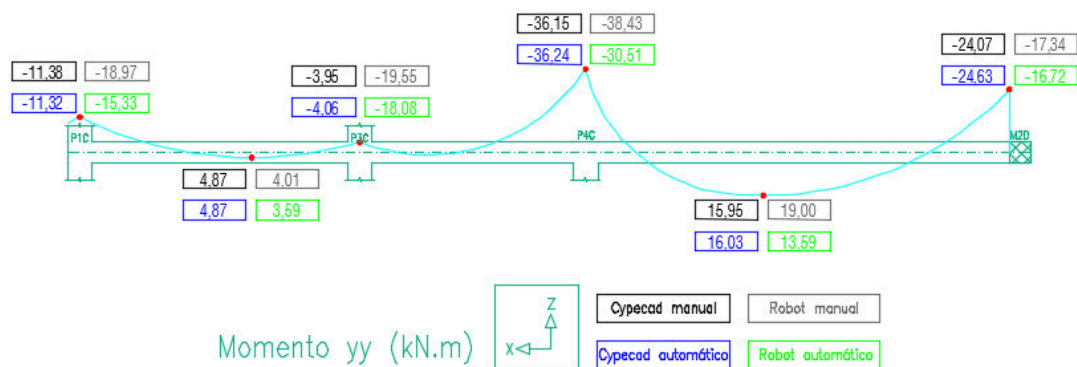


Figura 45 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a viga 5 do R/C.

Tabela 20 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para a viga 5 do R/C.

Modelo Secção	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Transverso Positivo P4C (kN)	152,15	152,47	191,86	153,08
Diferença (%)	0,21		20,22	
Transverso Negativo P4C (kN)	-56,34	-56,04	-64,69	-55,02
Diferença (%)	0,53		14,95	
Transverso P1C (kN)	48,39	36,88	42,17	36,95
Diferença (%)	44,45		12,38	
Myy M20 (kN.m)	-16,72	-24,63	-17,34	-24,07
Diferença (%)	32,12		27,96	
Myy Máx. (kN.m)	13,59	16,03	19,00	15,95
Diferença (%)	15,22		16,05	
Myy P4C (kN.m)	-30,51	-36,24	-38,43	-36,15
Diferença (%)	15,81		5,93	

A viga 5 liga os pilares P1C, P3C, P4C e Muro 20, sendo que ao longo desta, num dos seus lados este é interrompido com a abertura de dois espaços para serem realizadas as escadas de ligação entre pisos, e a colocação da claraboia no hall de entrada. Todos os resultados de esforços se revelaram semelhantes à exceção do modelo Manual realizado no

software Robot, tendo neste se verificado sempre valores de esforços mais elevados face aos outros modelos realizados.

Quanto à localização dos valores dos esforços, pelas figuras é notório que estes se localizam todos no mesmo sítio para os diversos modelos realizados.

5.3. Análise comparativa na laje

Os resultados recolhidos para a Laje do Rés-do-chão foi ao nível dos esforços de momentos fletores, quer na direção x, quer na direção y.

As seguintes Figuras 46 e 47 foram criadas no software AutoCAD para uma melhor interpretação dos diferentes resultados de valores de esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

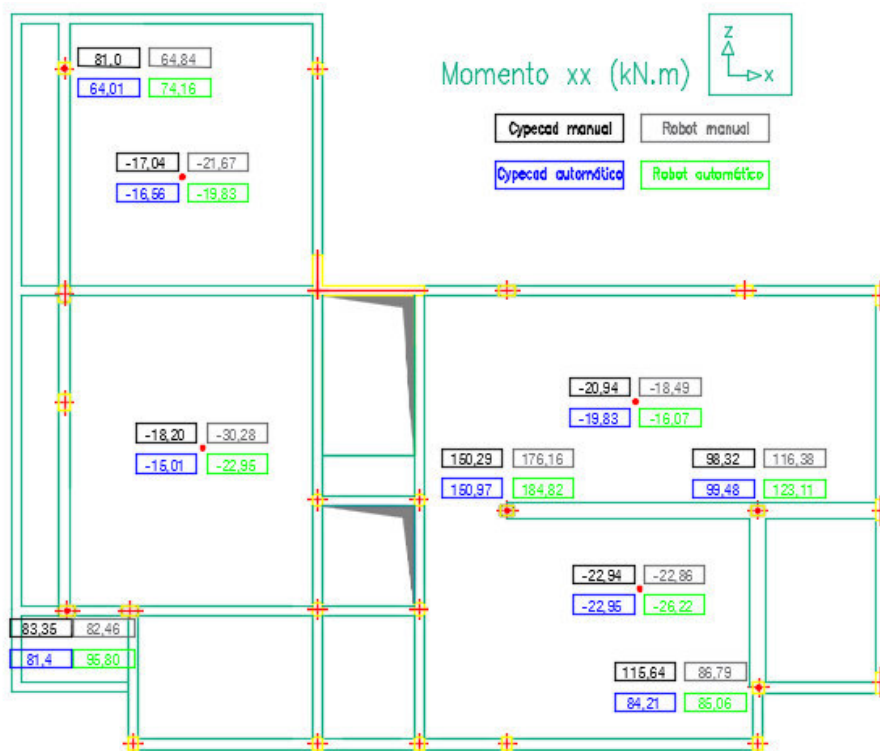


Figura 46 - Síntese dos resultados do momento fletor em xx dos vários modelos estruturais realizados para a Laje do R/C.

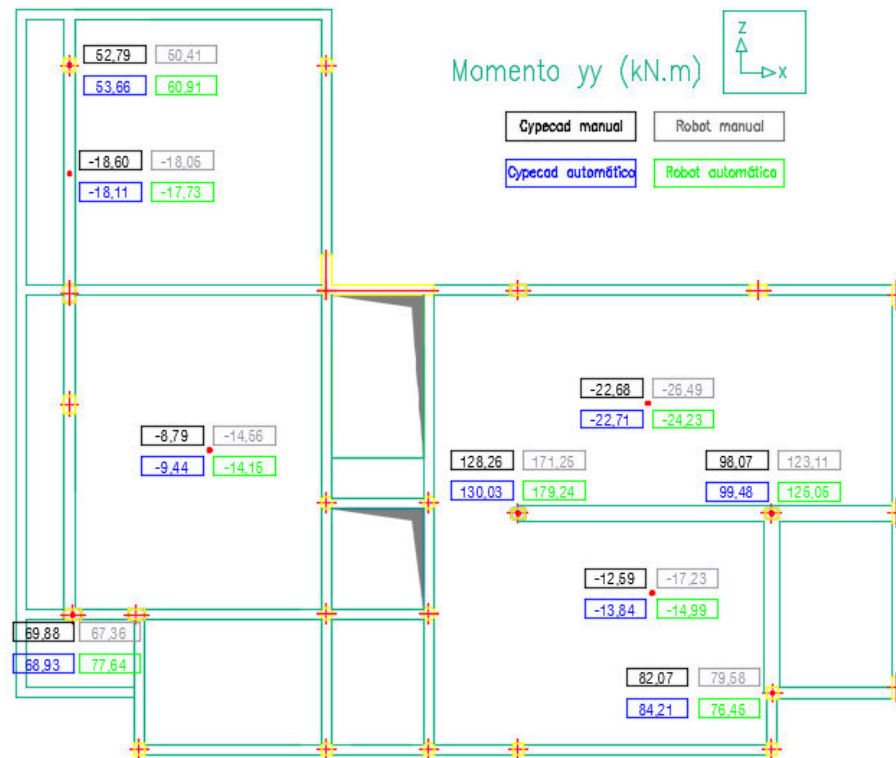


Figura 47 - Síntese dos resultados do momento fletor em yy dos vários modelos estruturais realizados para a Laje do R/C.

Tabela 21 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Laje do R/C.

Seção \ Modelo	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Mxx Máx. Positivo (kN.m/m)	195,34	150,97	190,10	150,29
Diferença (%)	22,71		20,94	
Mx Máx. Negativo (kN.m/m)	-179,28	-22,95	-182,03	-22,94
Diferença (%)	87,20		87,40	
My Máx. Positivo (kN.m/m)	179,24	130,03	171,25	128,26
Diferença (%)	27,46		25,10	
My Máx. Negativo (kN.m/m)	-174,46	-22,71	-169,14	-22,68
Diferença (%)	86,98		86,59	

Os esforços retirados do software Robot revelaram ser superiores aos do software Cypecad, tanto para os valores positivos como negativos, com elevada acentuação para os valores máximos negativos. Quanto ao momento fletor máximo positivo, estes revelaram-se com algumas diferenças na comparação entre o mesmo modelo para os diferentes softwares, ligeiramente acima dos 20%, sendo os resultados muito aproximados para modelos diferentes na realização do mesmo software.

5.4. Análise comparativa nos muros

Neste subcapítulo serão analisados dois muros, o Muro 20 e o Muro 4. A escolha para a análise destes muros deveu-se às diferenças que eles apresentam entre si, uma vez que o Muro 20 é de grandes dimensões iniciando-se desde a fundação até ao teto do 1ºAndar, enquanto o Muro 4 se inicia da fundação até ao teto da Cave.

Os resultados recolhidos para os Muros em causa, foram os esforços axial vertical e momentos fletores, quer na direção x, quer na direção y. Devido ao software Cypecad apresentar apenas os esforços dos muros através de casos singulares, isto é, o esforço de Peso Próprio, ou esforço provocado pelo Vento ou Sismo de forma individual, assim também no software Robot foi retirado o esforço de apenas uma ação. A ação escolhida para que os esforços fossem comparados dentro do mesmo parâmetro foi a ação do Peso Próprio de cada Muro.

A Tabela 22 foi criada para uma melhor interpretação dos diferentes resultados de valores de esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

Muro 20

Tabela 22 - Síntese dos resultados dos vários modelos estruturais realizados para o Muro 20.

M20	Fundação - Teto da Cave		
	Axial vertical (kN/m)	Momento xx Máx. Positivo (kN.m/m)	Momento xx Máx. Negativo (kN.m/m)
Robot automático	627,92	35,77	-56,69
Robot manual	627,87	35,80	-56,61
Cypecad automático	1865,42	37,31	-22,32
Cypecad manual	1827,10	36,54	-22,36
	Teto da Cave - Teto do R/C		
Robot automático	224,56	69,45	-39,89
Robot manual	224,38	69,42	-39,91
Cypecad automático	324,26	9,32	-6,49
Cypecad manual	319,46	9,27	-6,39
	Teto do R/C - Teto do 1º Andar		
Robot automático	2065,22	60,59	-39,89
Robot manual	2065,05	60,60	-39,91
Cypecad automático	388,58	125,40	-130,36
Cypecad manual	387,97	123,73	-129,41

Tabela 23 - Análise dos esforços verificados nos vários modelos estruturais para o Muro 20.

Seção \ Modelo	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Axial Teto Cave – Teto R/C (kN/m)	224,56	324,26	224,38	319,46
Diferença (%)	30,74		29,76	
Mxx Fundação – Teto Cave (kN.m/m)	35,77	37,31	35,80	36,54
Diferença (%)	4,13		2,03	
Mxx Teto R/C – Teto 1º Andar (kN.m/m)	60,59	125,40	60,60	123,73
Diferença (%)	51,68		51,02	
Myy Fundação – Teto Cave (kN.m/m)	-56,69	-22,32	-56,61	-22,36
Diferença (%)	60,63		60,50	
Myy Teto R/C – Teto 1º Andar (kN.m/m)	-39,89	-130,36	-39,91	-129,41
Diferença (%)	69,40		69,16	

A tabela anterior demonstra grande variação na diferença entre os softwares para a realização do mesmo modelo estrutural, porém, a diferença de resultados no mesmo software revela-se praticamente igual. Estes resultados podem dever-se à leitura e análise de dados que cada software realiza, pois como foi referido no capítulo 2.1, o software Cypecad considera a modelação de paredes e muros como uma casca espessa e no software Robot a sua modelação de muros é apenas considerada como uma casca.

Em termos individuais o esforço que deu com menores valores de diferença entre o mesmo modelo para os diferentes softwares foi no momento da direção x entre a fundação e o teto da cave, com um valor de desequilíbrio ligeiramente superior a 10%. Nos modelos realizados no software Cypecad os valores para momento fletor deram sempre superiores face aos modelos realizados no software Robot, tanto nos máximos positivos como nos negativos, à exceção do máximo negativo para o momento fletor na direção y em que isso não se verificou.

A Tabela 24 foi criada para uma melhor interpretação dos diferentes resultados dos valores dos esforços dos modelos estruturais realizados em ambos os softwares.

Muro 4

Tabela 24 - Síntese dos resultados dos vários modelos estruturais realizados para o Muro 4.

M4	Fundação - Teto da Cave		
	Axial vertical (kN/m)	Momento xx Máx. Positivo (kN.m/m)	Momento xx Máx. Negativo (kN.m/m)
Robot automático	270,71	5,65	-13,38
Robot manual	268,01	5,71	-13,37
Cypecad automático	250,72	8,44	-19,07
Cypecad manual	216,01	8,34	-19,15

Tabela 25 - Síntese dos esforços verificados nos diferentes modelos estruturais para o Muro 4.

Modelo Secção	Automático		Manual	
	Robot	Cypecad	Robot	Cypecad
Axial Teto Cave – Teto R/C (kN/m)	270,71	250,72	268,01	216,01
Diferença (%)	19,99		19,40	
Mxx Fundação – Teto Cave (kN.m/m)	5,71	8,44	5,65	8,34
Diferença (%)	32,35		32,25	
Myy Fundação – Teto Cave (kN.m/m)	-13,38	-19,07	-13,37	-19,15
Diferença (%)	29,84		30,18	

Tal como os esforços do Muro 20 para os diferentes modelos estruturais realizados, também o Muro 4 apresenta grandes diferenças entre eles. Também neste Muro, o valor de momento fletor é mais avultado nos modelos realizados no software Cypecad em comparação com os valores que os modelos realizados no software Robot apresenta, estando apenas os valores de máximo negativo para o momento fletor na direção y mais altos para os modelos realizados no software Robot.

6. Desenhos do projeto de estabilidade

Tendo os valores das reações de cada elemento estrutural fornecido pelo software de cálculo, procedeu-se ao respetivo dimensionamento estrutural da moradia. De referir que o dimensionamento foi através do software Cypecad.

Durante a realização do dimensionamento no software foi necessário corrigir alguns elementos estruturais, isto é, alteraram-se as suas dimensões de modo a evitar excessiva concentração de armaduras, por insuficiência de secção, nomeadamente nas vigas do teto do Rés-do-Chão e 1º Andar e pilares P3B, P2G, P4G e P6G.

Na realização do dimensionamento das armaduras com o auxílio do software Cypecad, teve-se em atenção o arranjo de soluções, quer com isto dizer, no arranjo das armaduras das vigas e vigas de fundação, tentou-se evitar descontinuidade nos varões, evitando assim cortes e medidas inadequadas. Outro fator em atenção foi resguardar a grande diversidade de diâmetros de varões, tentando arranjar uma igualdade de diâmetro de varões de baixo diâmetro para os vários elementos, evitando assim a complexidade da colocação com vários tipos de varões e de diferentes dimensões.

A fundação dimensionada foi um ensoleiramento geral composto por vigas de fundação com uma altura de 40 cm sobre os muros e pilares e 30 cm na restante área. Na base da viga de fundação irá ser criada o prolongamento do muro com 1,5 m para o solo de modo a permitir a absorção de um possível assentamento ou deslocamento do edificado. O seu dimensionamento foi através da inserção de apoios elásticos na laje de fundação, sendo o módulo de Winkler para o solo em questão igual a 100 000 kN/m³.

Segundo Reis [14], “o desenho é o veículo de comunicação por excelência, que elucida e dissipa dúvidas, bem como de igual forma separa as más interpretações do que se pretende executar”, com isto entende-se que os elementos gráficos devem permitir a sua compreensão de uma forma clara e exata do que se pretende construir, e tudo o que não tiver explícito ou em falta nos desenhos, pode ser utilizado como desculpa para a prática e regras de uma boa execução.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Em anexo apresentam-se todas as peças desenhadas dos elementos para a construção da moradia. As peças desenhadas foram exportadas do software após a conclusão do dimensionamento e melhoradas, visto que são peças fundamentais à execução da obra.

Na base de dados do software Cypecad, existe uma vasta biblioteca de pormenores construtivos para estruturas, que foram usados e adaptados ao que se pretende construir.

7. Conclusões e desenvolvimentos futuros

As empresas vivem cada vez mais num mercado global onde a evolução da tecnologia veio ajudar a esse acontecimento, criando grande competitividade entre elas fazendo com que os pormenores sejam cada vez mais determinantes. O surgimento da evolução de softwares de cálculo automático de estruturas permite economia de tempo na análise estrutural, onde a rapidez e qualidade são decisivos e indispensáveis nos dias de hoje.

Quanto aos softwares utilizados, estes permitem aos projetistas de estruturas uma economia de tempo enorme no estudo e análise de estruturas, em outras palavras, estes tipos de softwares permitem fazer pequenas alterações de modo a otimizar soluções de uma forma prática e rápida.

Verificou-se que o software Robot permite a inserção de um maior número de dados, o que permite ao projetista de estruturas criar um modelo estrutural mais personalizado com as ações e coeficientes como assim o desejar, face ao Cypecad onde a inserção de dados é mais reduzida. De salientar que não basta apenas utilizar um software de cálculo automático estrutural, porque existem fatores que podem condicionar o erro, como por exemplo, a falta de experiência do utilizador no dimensionamento estrutural, ou o mau conhecimento relativo ao software, podendo levar a uma prejudicial solução estrutural, nomeadamente no sobredimensionamento de elementos estruturais.

Ao longo das análises dos elementos estruturais verificou-se bastante similaridade de resultados para os modelos estruturais realizados no mesmo software, isto é, comparando a modelação estrutural realizada de forma manual e automática, os esforços resultantes são idênticos, tanto através da utilização do software Cypecad ou Robot. Por outro lado, comparando os resultados de ambos os softwares, conclui-se que estes podem, nalguns casos, ser significativamente diferentes.

Conclui-se que para qualquer Engenheiro Projetista, pode ser útil o conhecimento de funcionamento de vários softwares de cálculo automático, podendo fazer a análise de vários modelos estruturais, comparando-os, de modo a dissipar dúvidas e ter uma melhor perceção do comportamento estrutural.

Projeto de estrutura de betão armado – Análise comparativa de dois softwares.

Conclui-se o período de estágio com conhecimento de competências adicionais com a aprendizagem da utilização da ferramenta de cálculo automático Cypecad.

No desenvolvimento do relatório de estudo não foram abordados alguns temas que são de interesse, tais como:

- Analisar as diferenças entre os dois softwares a nível de visualização gráfica de dimensionamento de elementos estruturais;
- Analisar as diferenças entre os desenhos de obra fornecidos pelos dois softwares;
- Análise de diferenças entre estruturas de maiores e menores dimensões pelos dois softwares.

Os esforços analisados foram os máximos e mínimos de uma determinada secção em alguns elementos estruturais, mas verificou-se que os mesmos esforços não correspondiam à mesma combinação de ação entre os dois softwares. Uma análise relevante seria verificar diferenças de esforços para combinações exatamente iguais entre os dois softwares.

Bibliografia

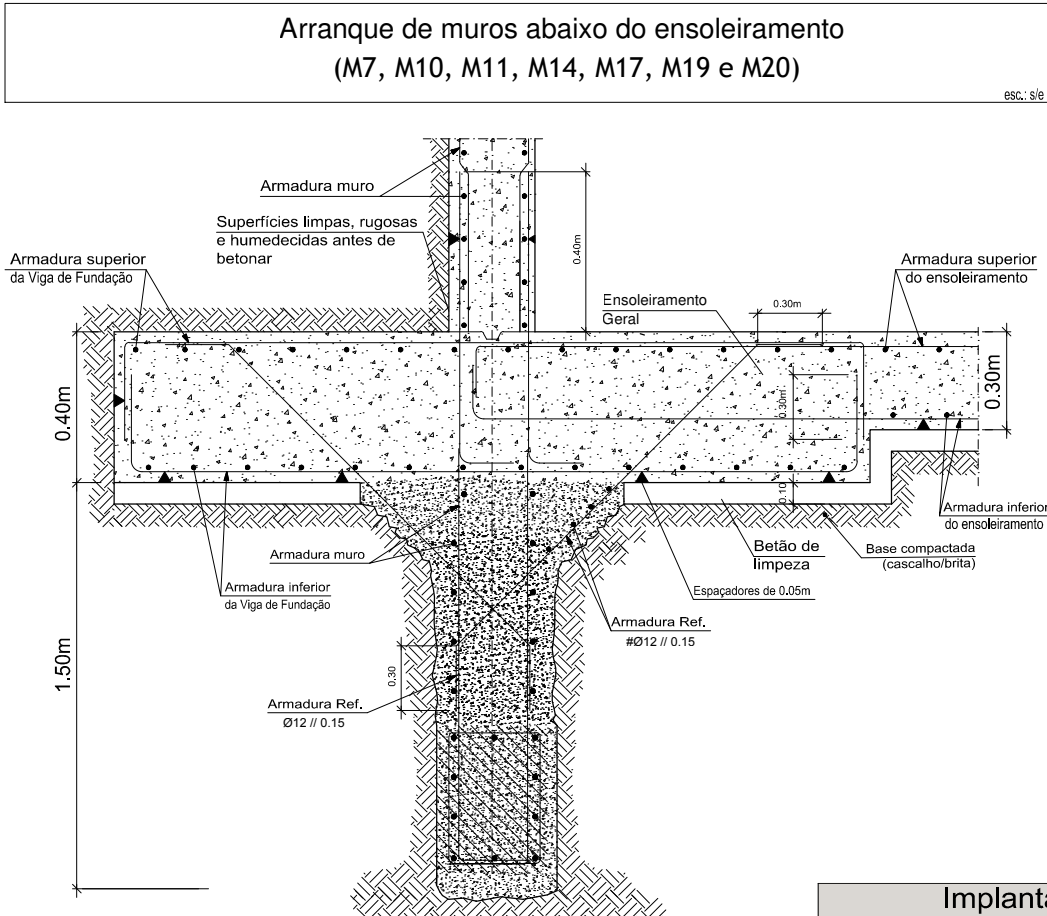
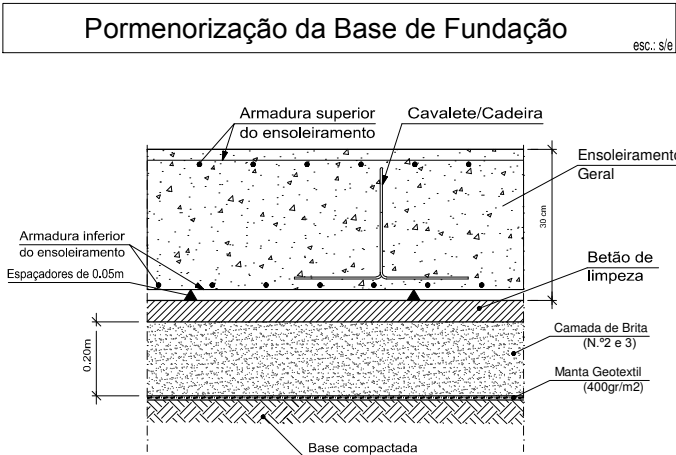
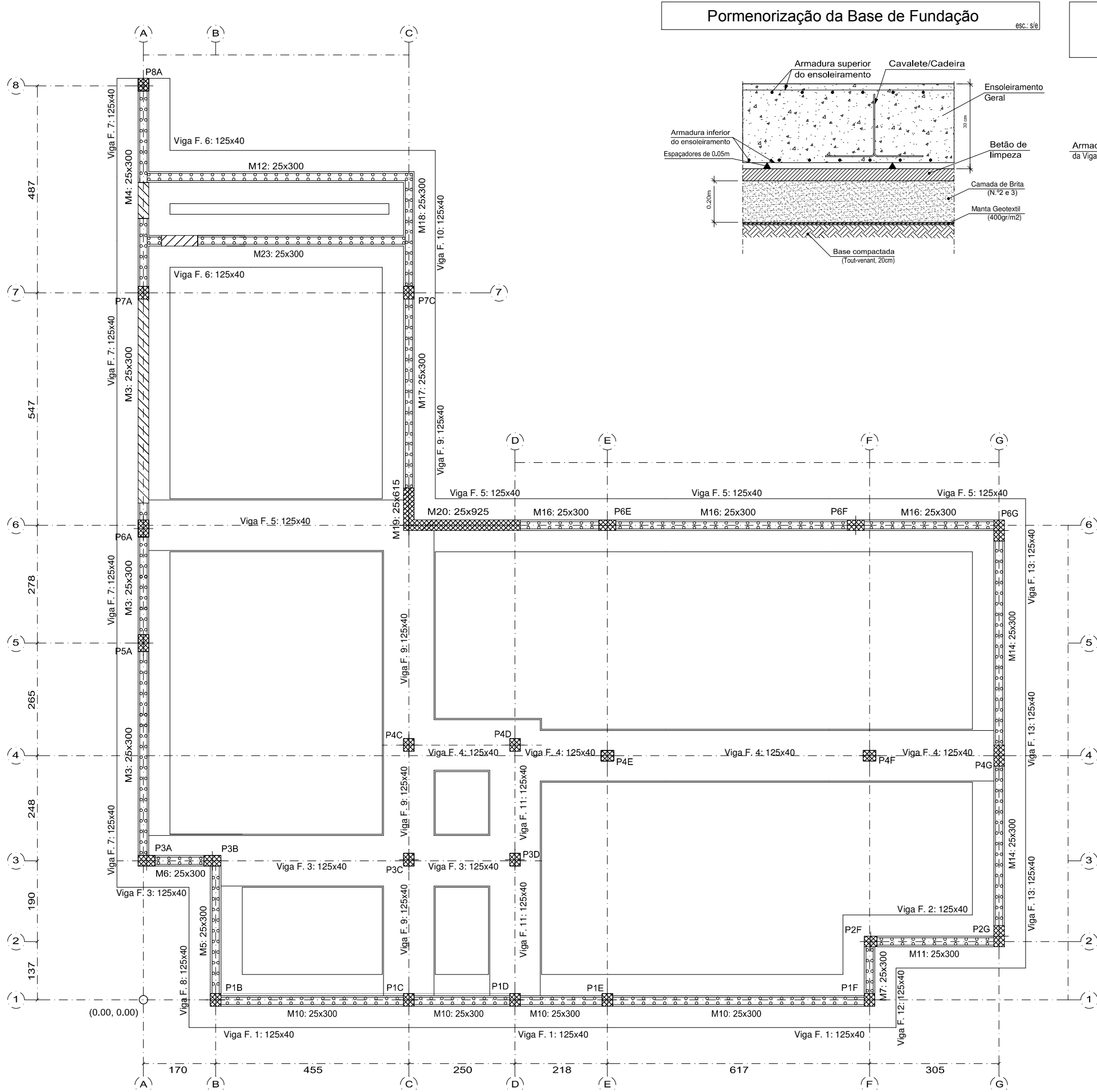
- [1] http://www.cype.pt/cype_ingenieros/ acedido em 20 de Abril de 2016.
- [2] <http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=49&item=396> acedido em 21 de abril de 2016.
- [3] <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview>, acedido em 29 de Abril de 2016.
- [4] <http://programas.cype.pt/> acedido em 21 de abril de 2016.
- [5] http://www.cype.pt/cype_ingenieros/ acedido em 21 de abril de 2016.
- [6] Cypecad, Cálculo de esforços de uma estrutura com introdução manual de acções verticais e horizontais, Elaborado pela Top-Informática, Lda. para a © CYPE Ingenieros, S.A. Fevereiro 2011.
- [7] Manual do utilizador programa Cypecad, traduzido e adaptado pela Top-Informática, Lda. para a © CYPE Ingenieros, S.A. Julho 2015.
- [8] Memória de cálculo programa Cypecad, traduzido e adaptado pela Top-Informática, Lda. para a © CYPE Ingenieros, S.A. Março 2013.
- [9] NP-EN 1991-1-4 - *Eurocódigo 1: Acções em estruturas Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*, ICS – 91.010.30.
- [10] NP-EN 1991-1-4 - *Eurocódigo 1: Acções em estruturas Parte 1-3: Acções gerais – Acção da Neve*, ICS – 91.010.30.
- [11] NP-EN 1991-1-4 - *Eurocódigo 1: Acções em estruturas Parte 1-4: Acções gerais – Acção do Vento*, ICS – 91.010.30.
- [12] NP-EN 1992-1-2 - *Eurocódigo 2: Projecto de Estruturas de Betão; Parte 1-1: Regras Gerais e regras para edifícios*, ICS – 91.080.40.
- [13] NP EN 1998-1 – *Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos; Parte 1: Regras gerais, acções sísmica e regras para edifícios*.

- [14] Reis, P. M. (2010) *Preparação de obras: Construção Civil*, Publindústrias, Edições Técnicas, Porto, 141 p.
- [15] Silva, L. M. F. (2014) *Estudo e Acompanhamento de Projeto de Estabilidade*, Relatório de Estágio para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construções, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 74 p.
- [16] Tavares, T. M. A. S. (2013) *Análise Comparativa de Modelos de Cálculo Automático no Âmbito do Projeto de Estruturas*, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos dos grau de mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 153 p.
- [17] <http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/features/all/list-view>,
acedido em 29 de Abril de 2016.
- [18] <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>,
acedido em 28 de Abril de 2016.
- [19] *Fundações Directas Correntes – Recomendações*, LNEC, E217, Julho de 1968.

Anexo

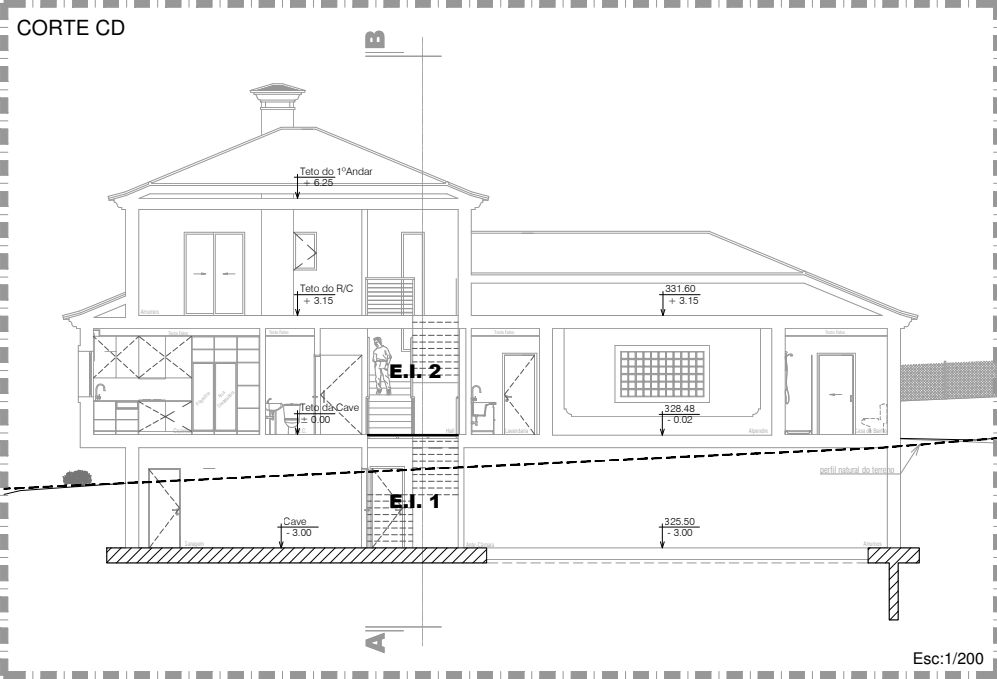
(Desenhos de um Projeto de Estabilidade)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco



NP EN 206-1
Dmax15
S3
Recobrimento: 4 cm
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

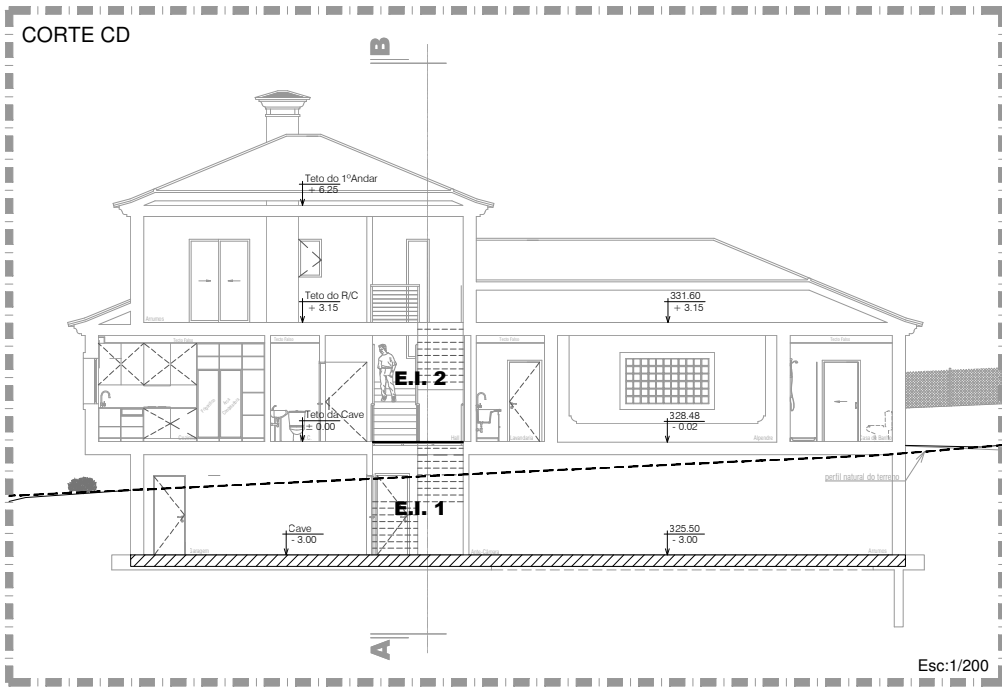
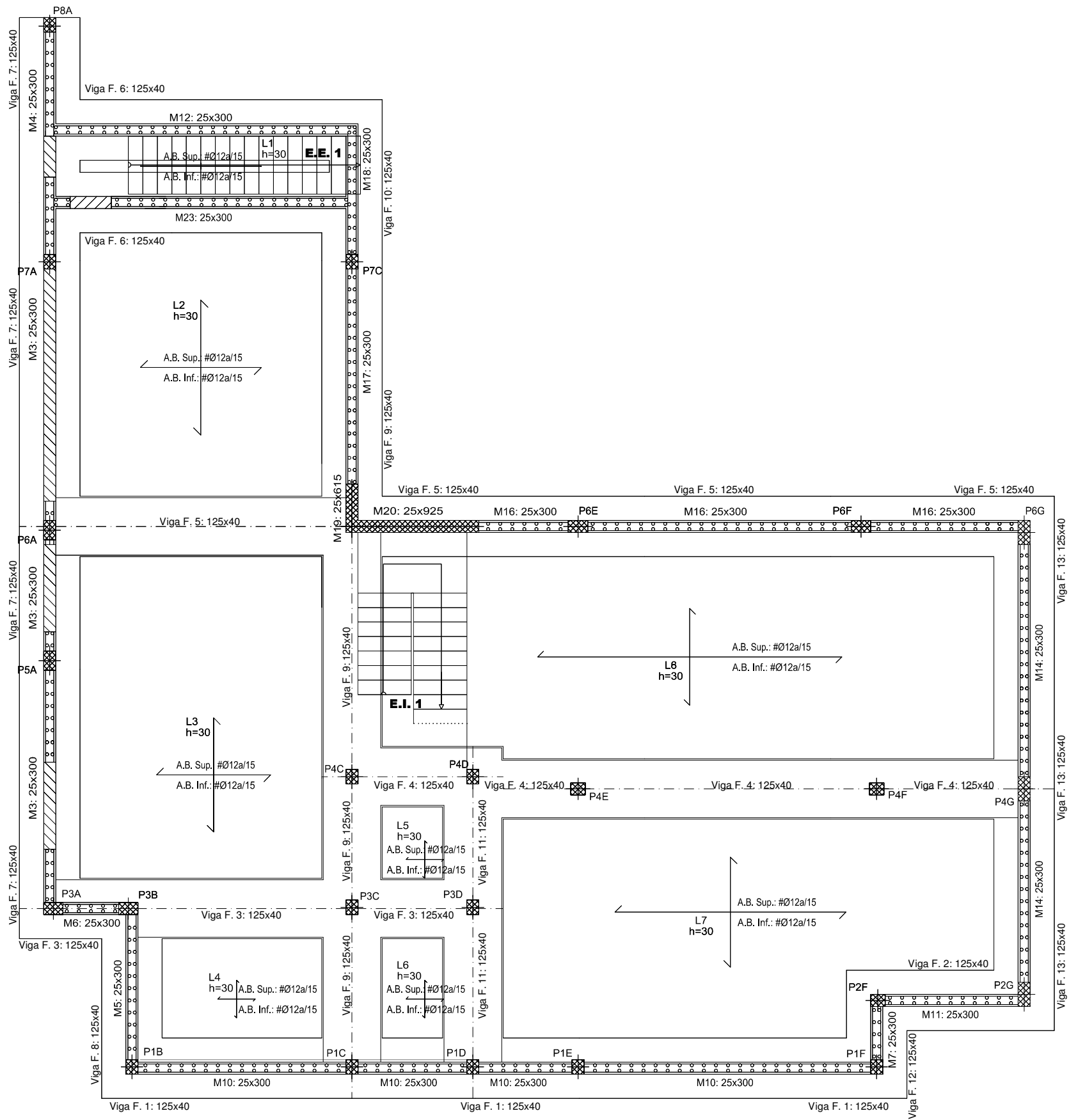
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Parede em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão



Implantação de pilares - Cave				Implantação de pilares - Cave			
Pilar	Dimensão (cm)	Coordenadas do centro		Pilar	Dimensão (cm)	Coordenadas do centro	
		Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)			Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
P1B	25x30	1.70	0.00	P4E	30x25	10.93	5.75
P1C	25x30	6.25	0.00	P4F	30x25	17.10	5.75
P1D	25x30	8.75	0.00	P4G	25x50	20.15	5.75
P1E	25x30	10.93	0.00	P5A	25x40	0.00	8.40
P1F	25x30	17.10	0.00	P6A	25x40	0.00	11.10
P2F	30x25	17.13	1.38	P6E	40x25	10.93	11.18
P2G	25x50	20.15	1.50	P6F	40x25	16.78	11.18
P3A	40x25	0.08	3.28	P6G	25x50	20.15	11.05
P3B	40x25	1.63	3.28	P7A	25x30	0.00	16.65
P3C	25x30	6.25	3.30	P7C	25x30	6.25	16.65
P3D	25x30	8.75	3.30	P8A	25x30	0.00	21.58
P4C	25x30	6.25	6.00	Nota: Cota de arranque dos pilares: -3.50 m			
P4D	25x30	8.75	6.00				

Projecto de Estabilidade

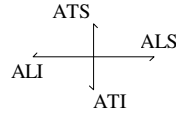
	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Planta da Fundação (Cotagem)	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha nº A-01



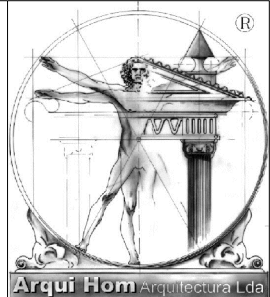
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Parede em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC4
CI 0.40
Dmax15
S3
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

Ensoleiramento Geral
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

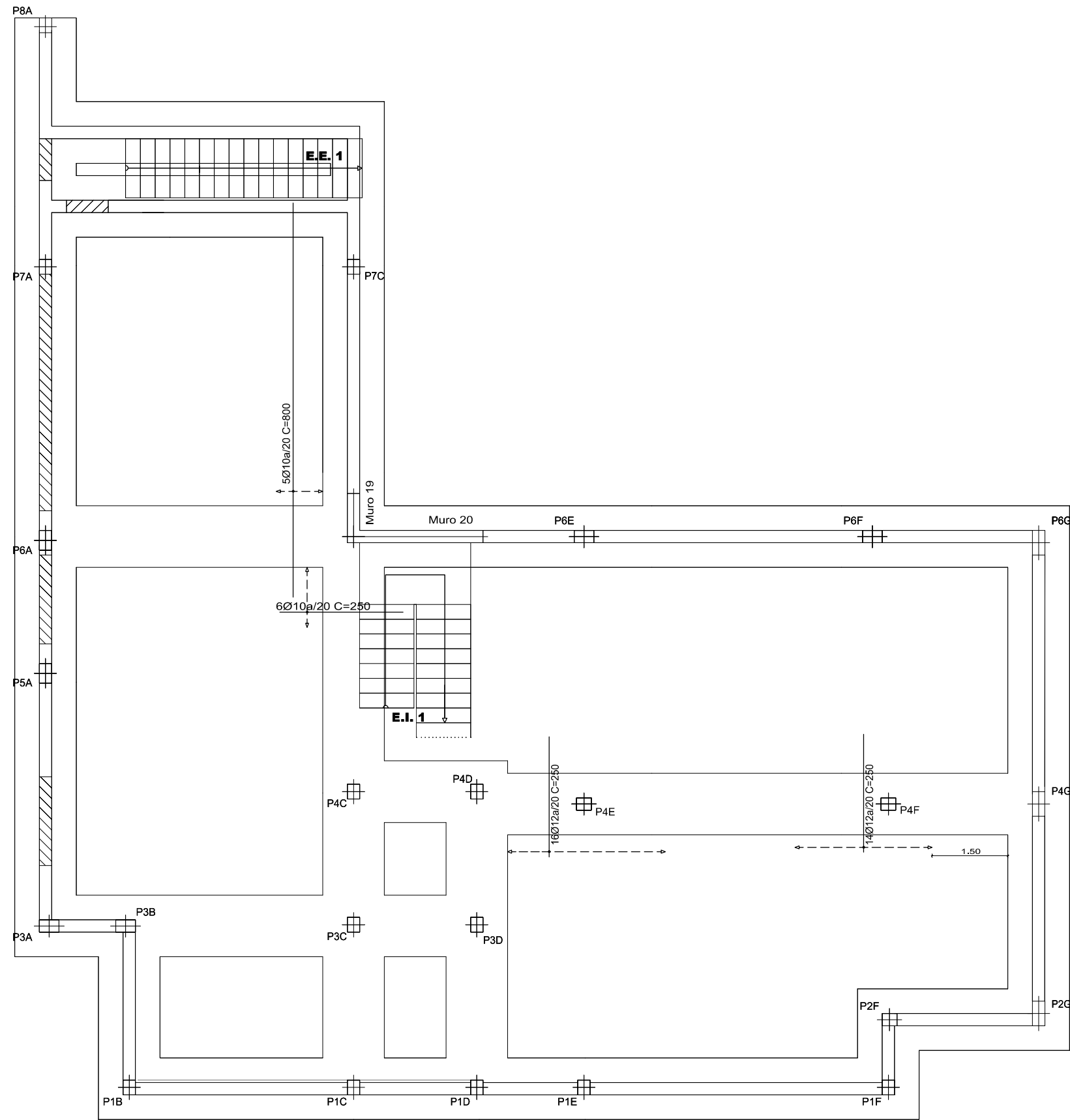


Projecto de Estabilidade

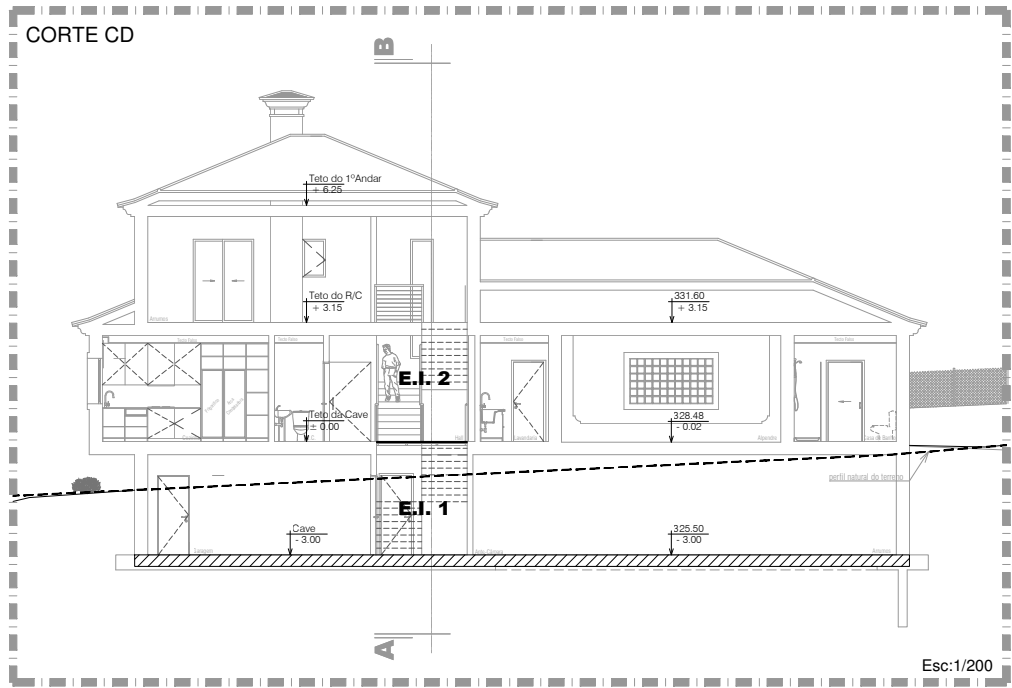


Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Armadura Base Planta da Cave	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-02



Nota:
Não necessita de Armadura de Reforço Transversal e Longitudinal Superior

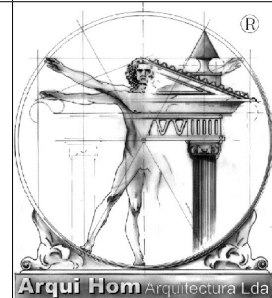


- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Parede em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC4
CI 0.40
Dmax15
S3
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

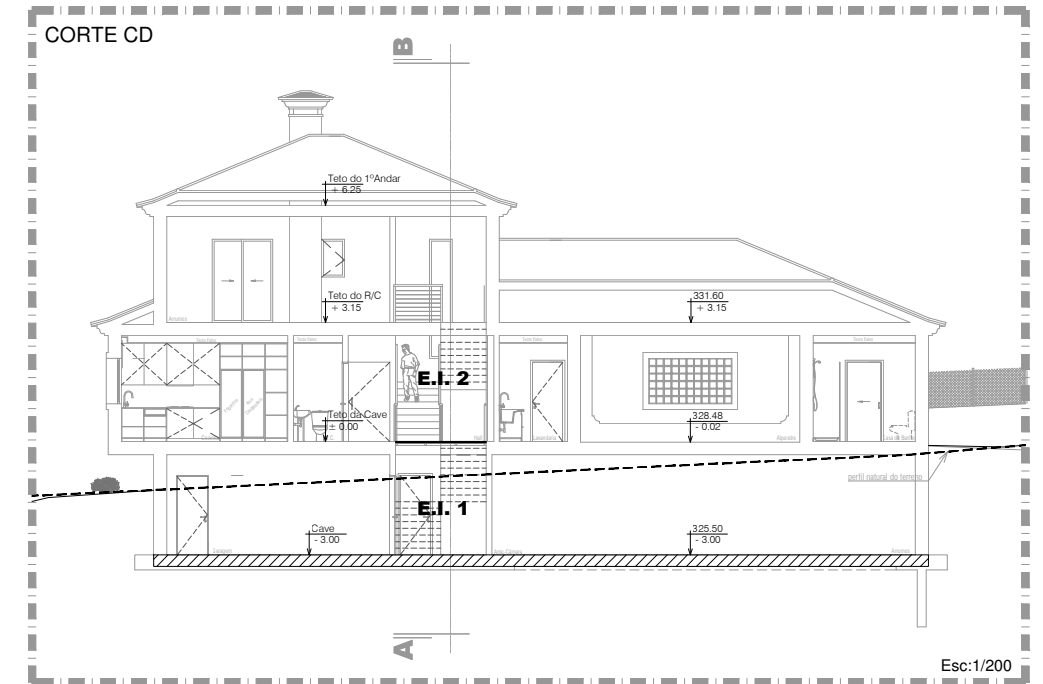
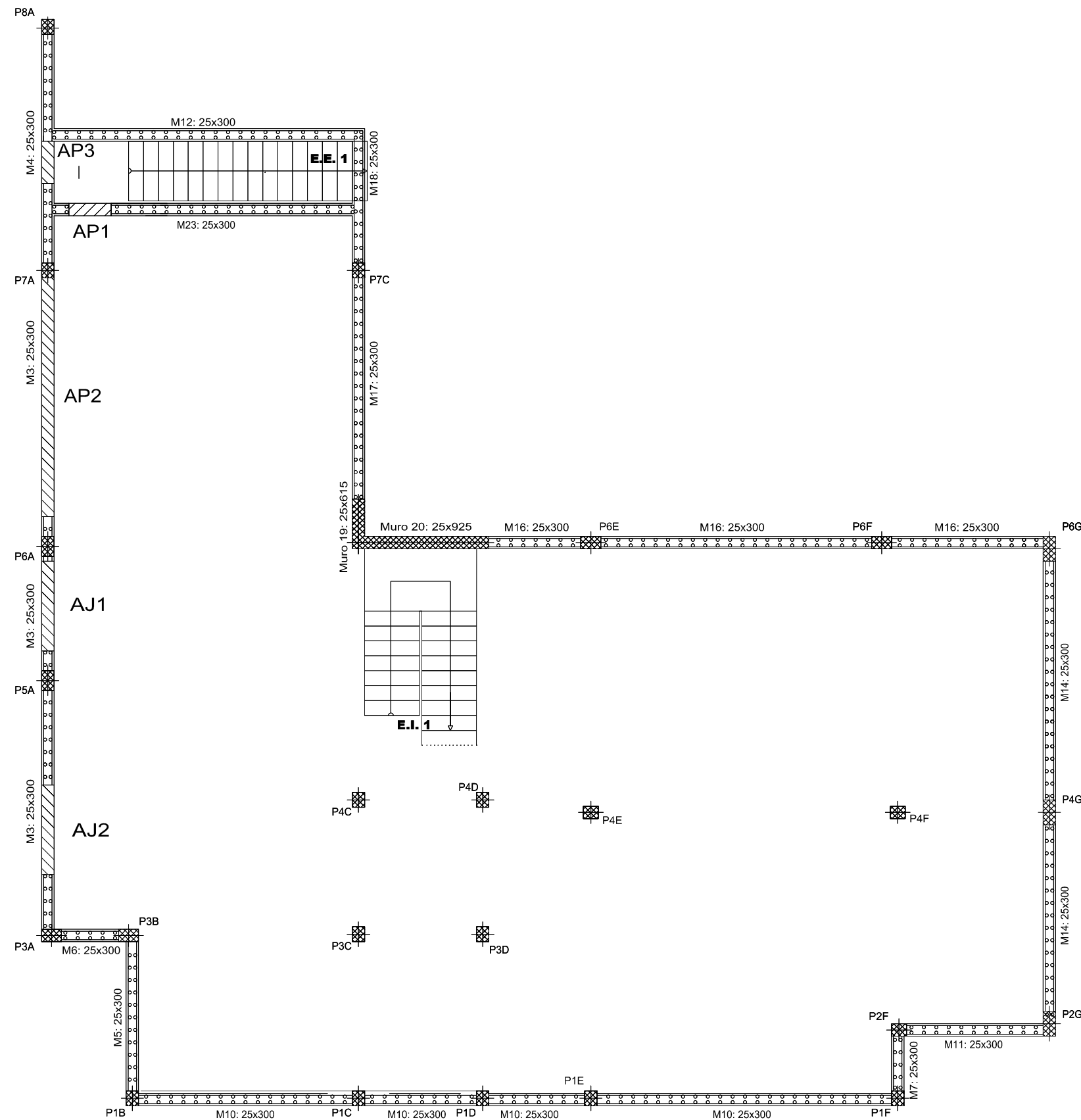
Ensoleiramento Geral
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

Projecto de Estabilidade

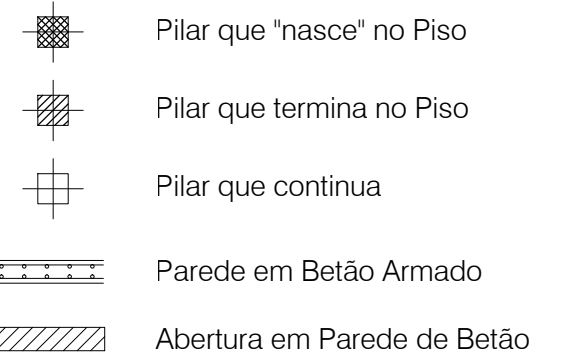


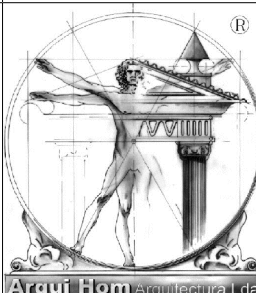
Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Arm. Reforço Trans. e Long. Inferior Planta da Cave	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-03

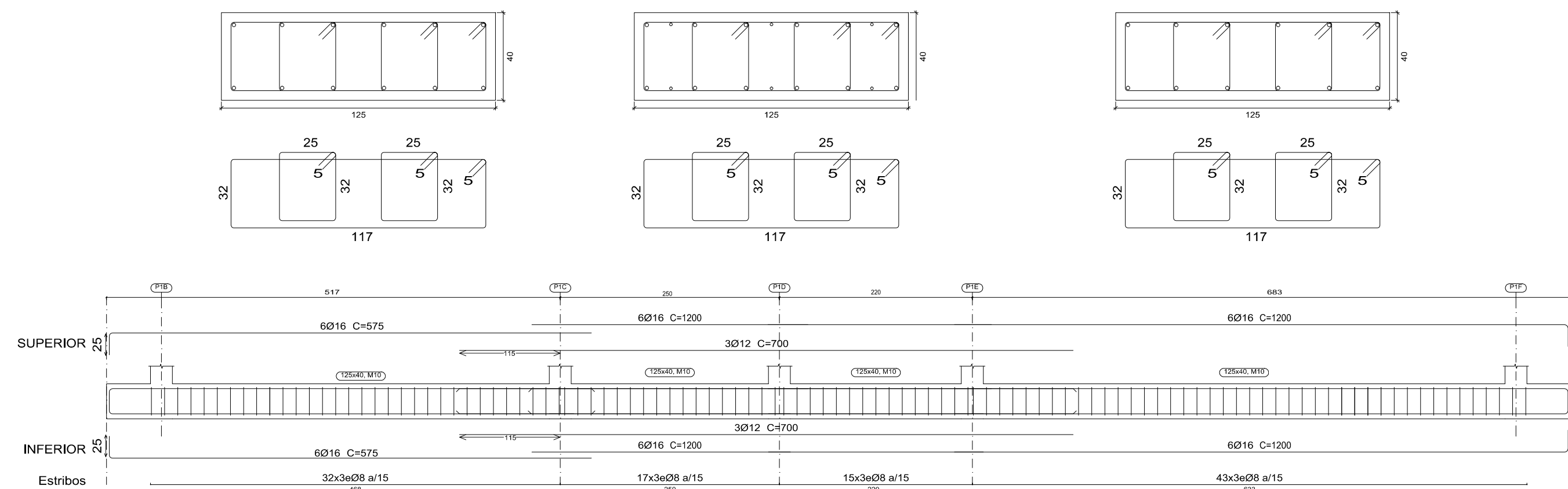


NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

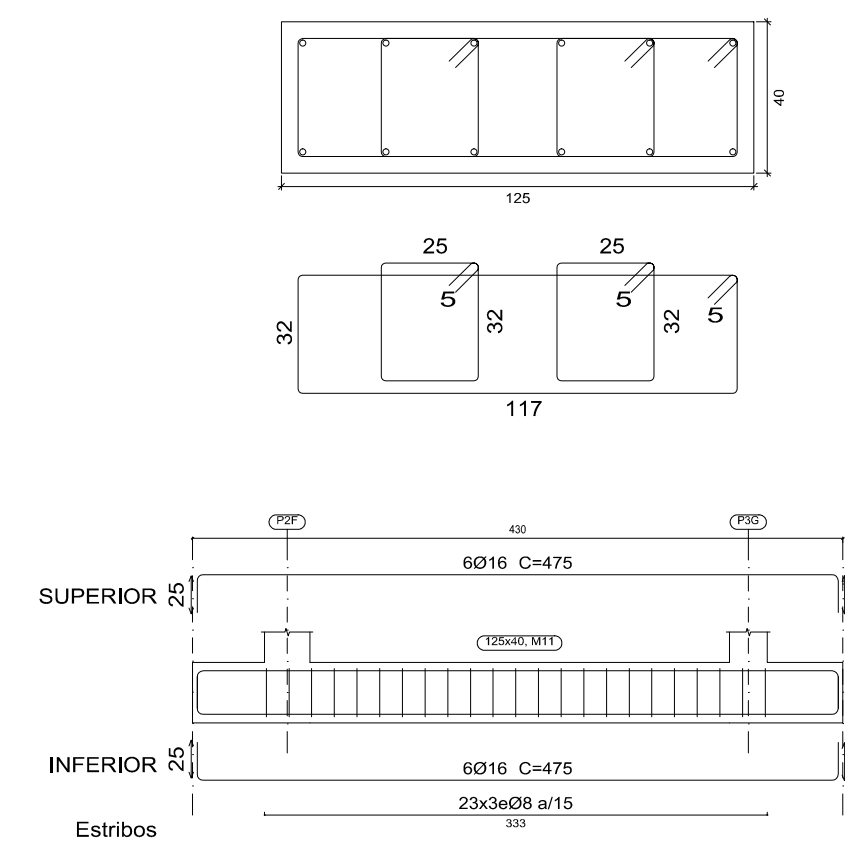


P r o j e c t o d e E s t a b i l i d a d e		
 <p>Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar. Gab. n.º 6, 2495-402 Fátima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com</p>	requerente.: Nome do Requerente	substituído em :
	designação: Construção de uma Moradia	processo:
	local: Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém: Muros de Betão Armado Designação	esc.: 1/100
estagiário: Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-04	

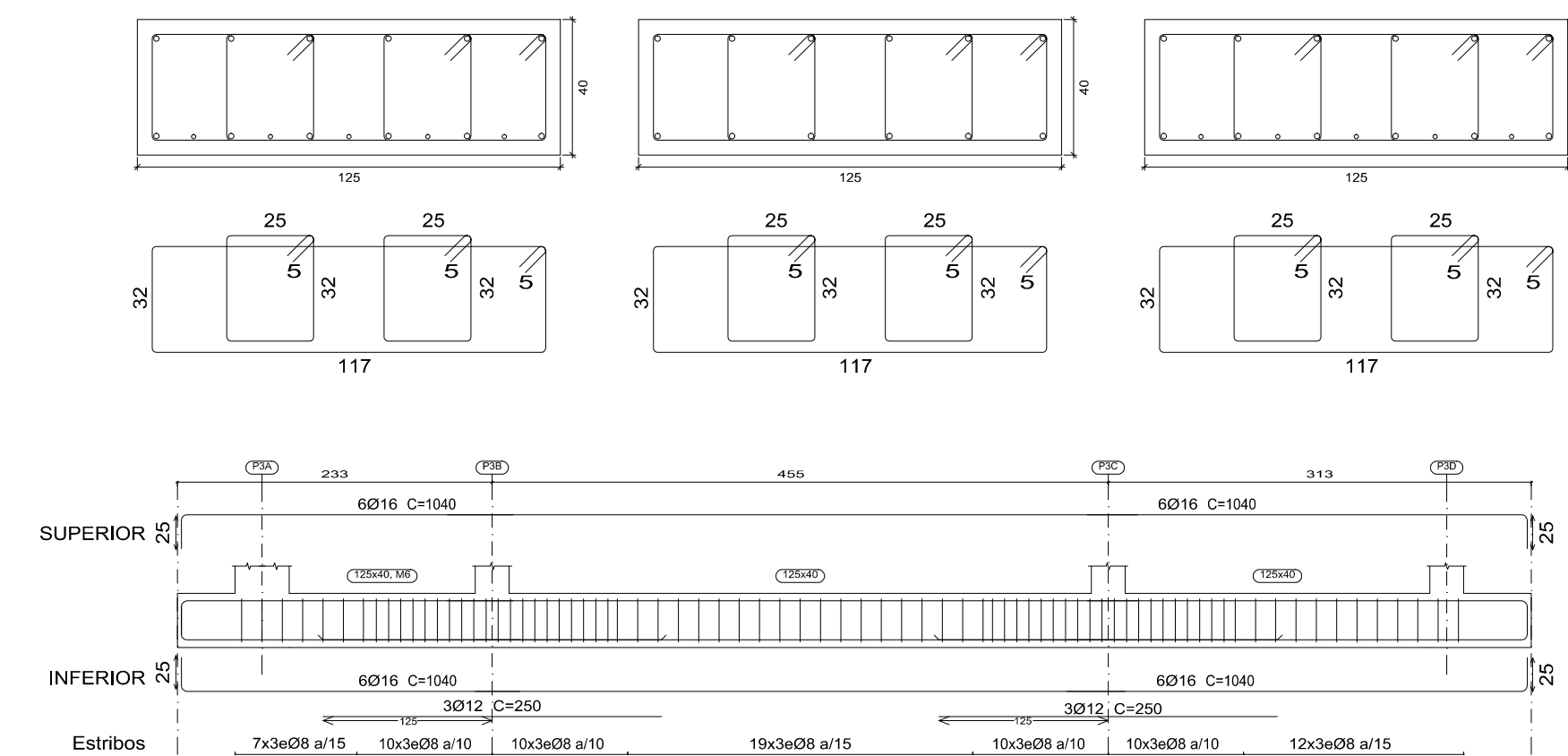
Viga de Fundação 1



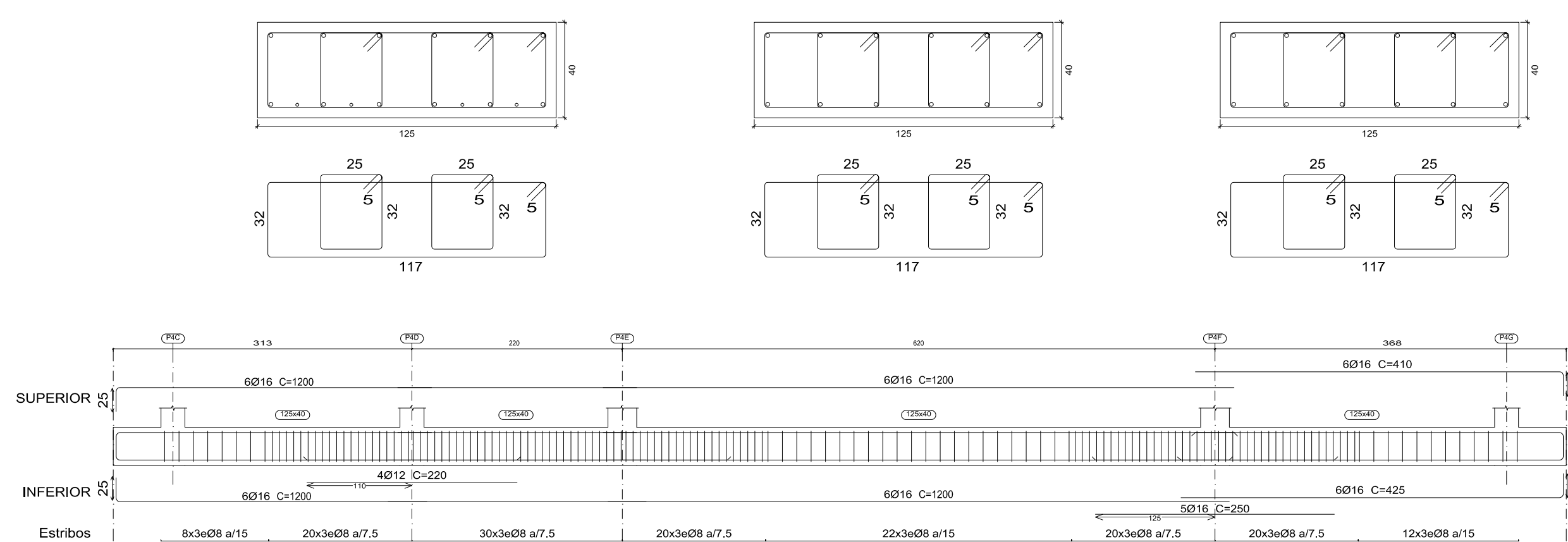
Viga de Fundação 2



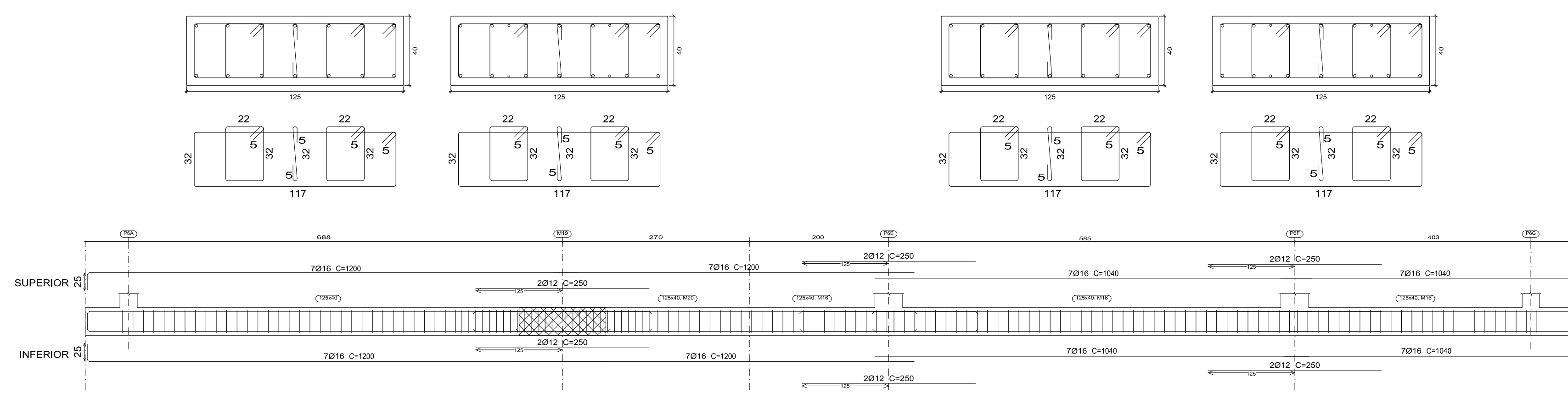
Viga de Fundação 3



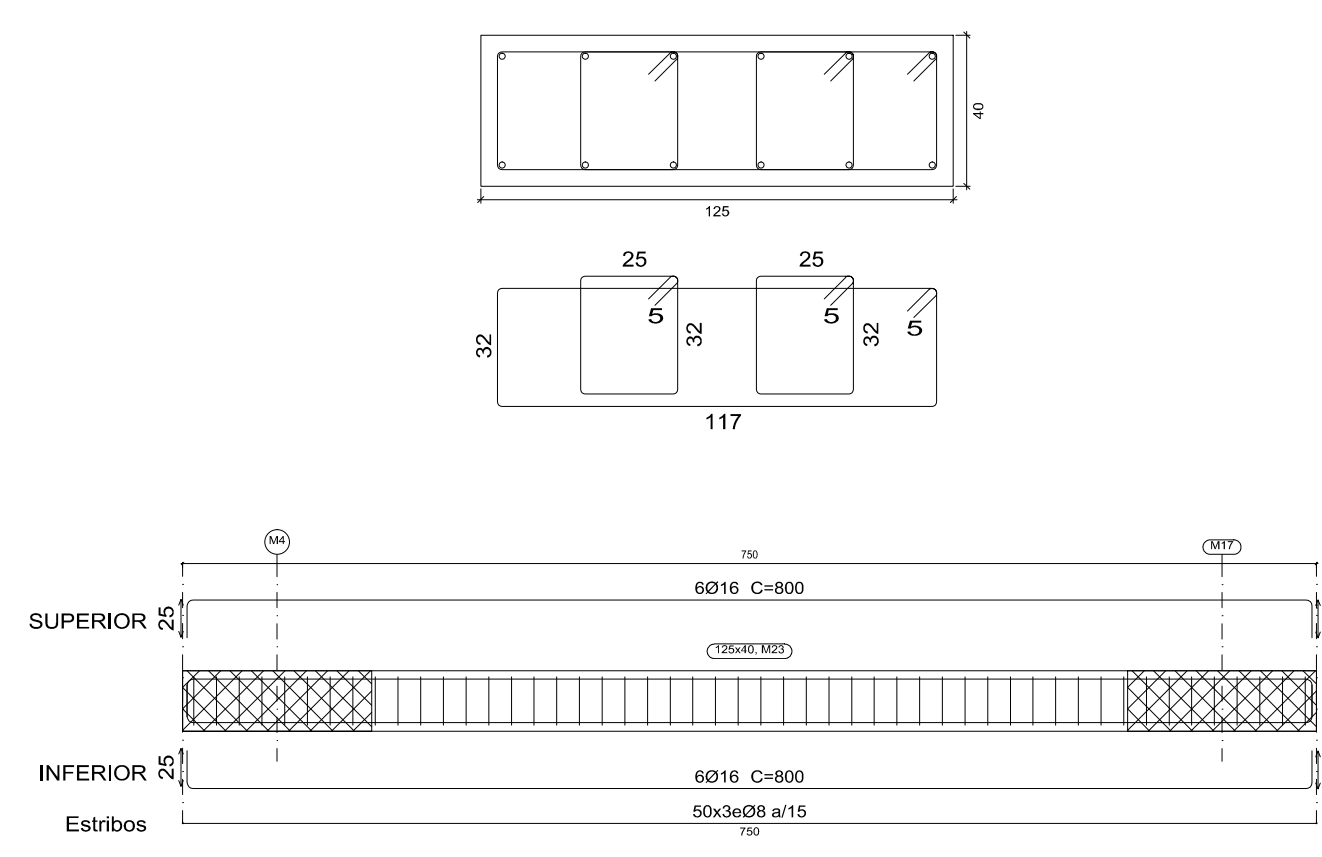
Viga de Fundação 4



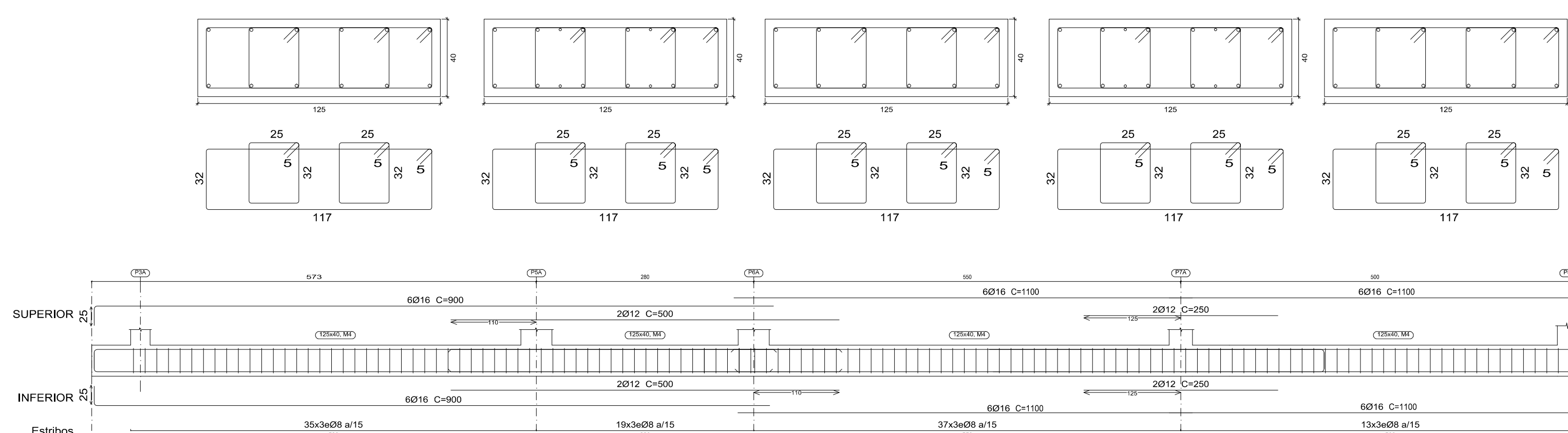
Viga de Fundação 5



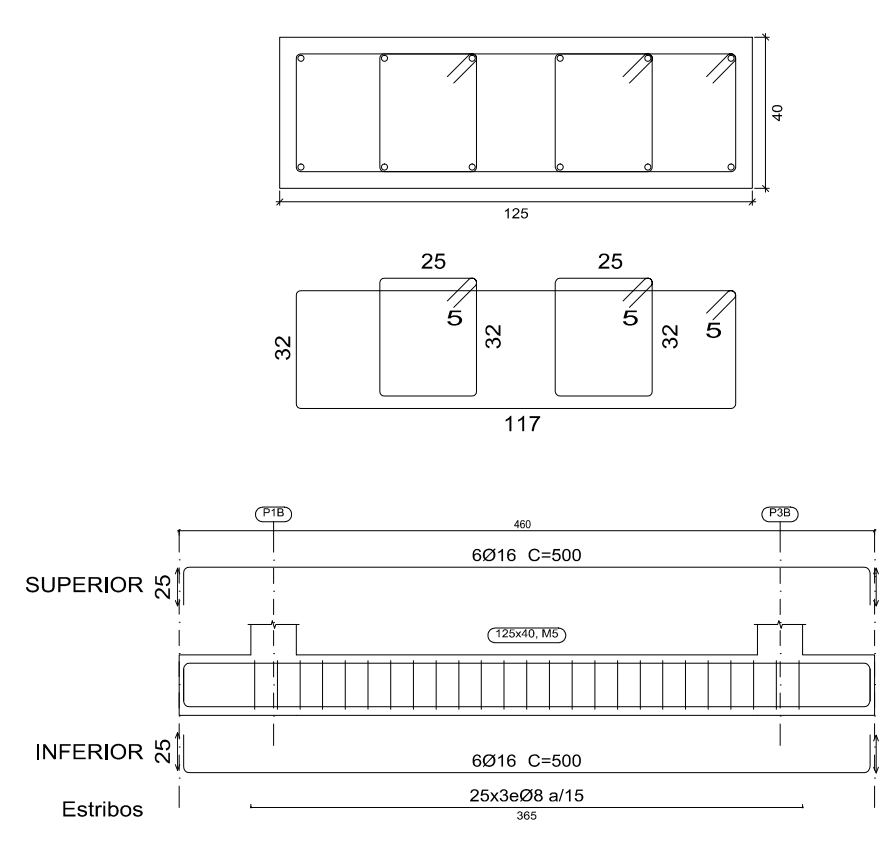
Viga de Fundação 6



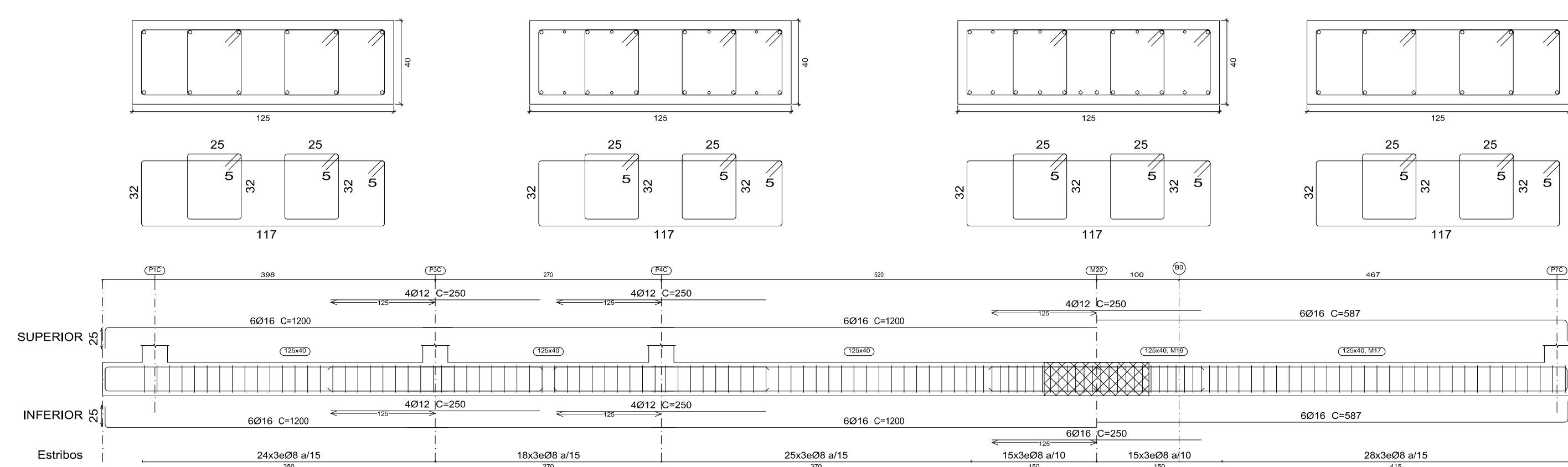
Viga de Fundação 7



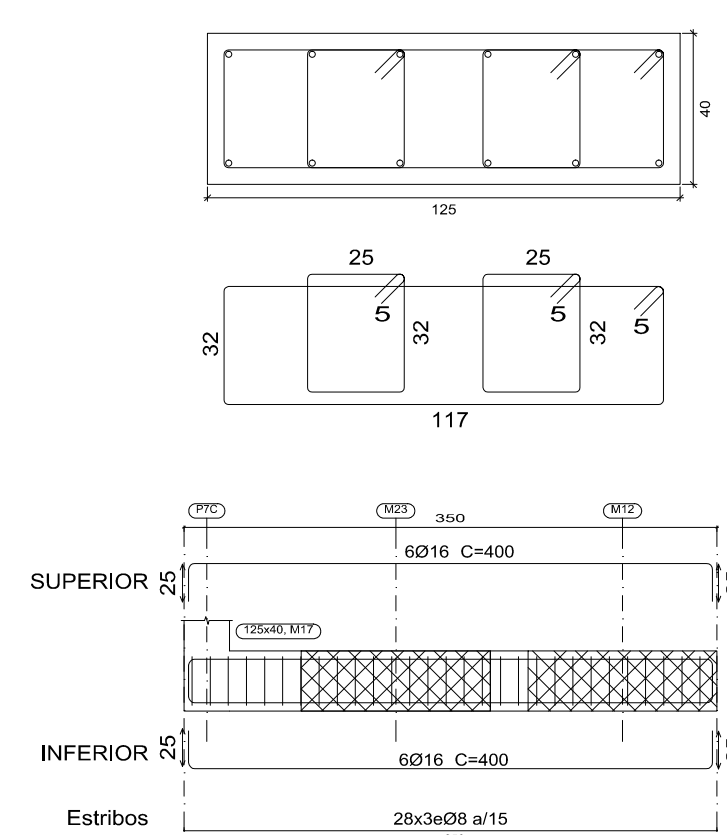
Viga de Fundação 8



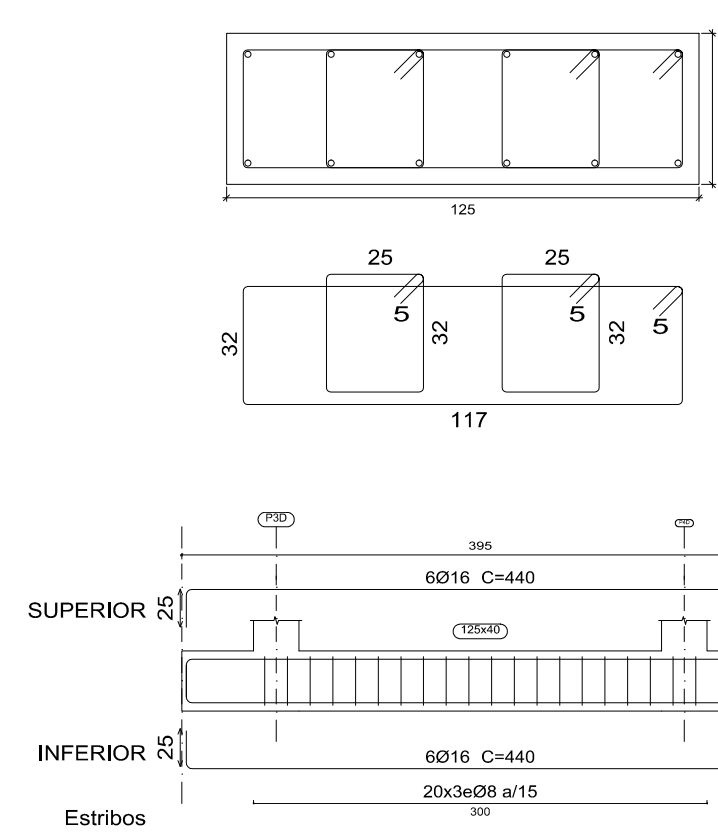
Viga de Fundação 9



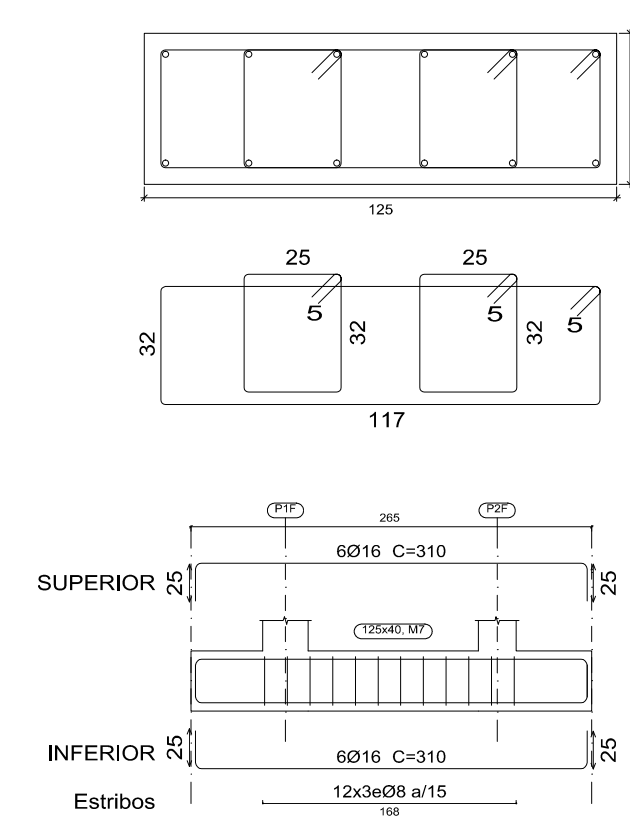
Viga de Fundação 10



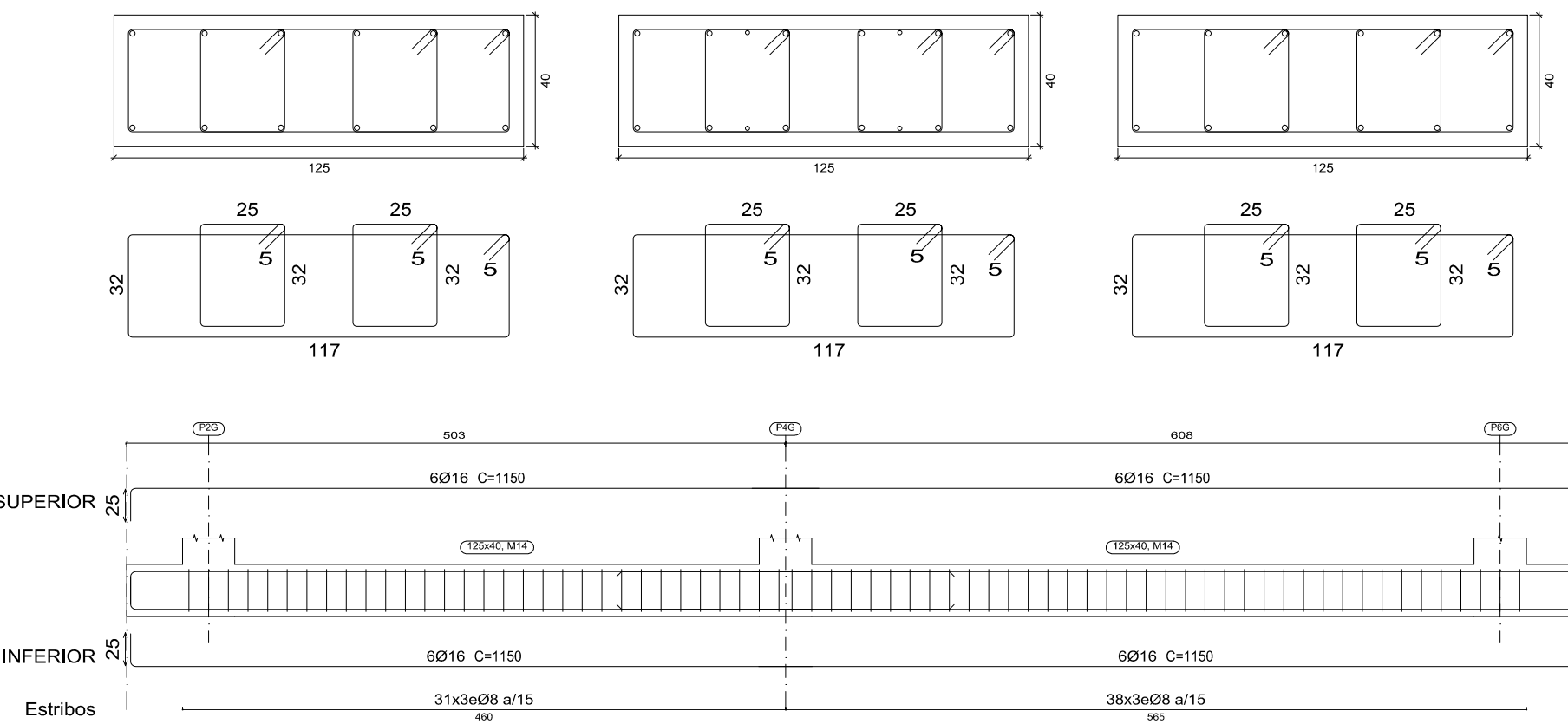
Viga de Fundação 11



Viga de Fundação 12



Viga de Fundação 13



Escala p3rticos: 1:50
Escala secc3es: 1:20

NP EN 206-1
XC4
Cl 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

P8A=P4C	P7A=P7C	P6A	P3A=P3B	P5A	P1B=P1C P1E=P1D	P2F=P4E P4F	P2G=P4G P6G	P6E=P6F	P3C=P3D P4D	P1F
		<p>Arm. Long. 8Ø20 C=330 2Ø16 C=300</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 8Ø16 C=350 2Ø12 C=300</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=330 4Ø16 C=330 2Ø12 C=330</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>					<p>Arm. Long. 4Ø20 C=330 2Ø16 C=300</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	
	<p>Arm. Long. 4Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 8Ø20 C=420 2Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 8Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=420 4Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø16 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 6Ø16 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=350 4Ø16 C=350 2Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø16 C=350 2Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=420 2Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=350 2Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>
<p>Arm. Long. 4Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 8Ø20 C=400 2Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 8Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=400 4Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 6Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=400 4Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø16 C=400 2Ø12 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=400 2Ø16 C=400</p> <p>Arm. Trans. Ø8 a/15</p>	<p>Arm. Long. 4Ø20 C=400 2Ø12 C=350</p> <p>Arm. Trans. Ø6 a/15</p>

Tecto 1A

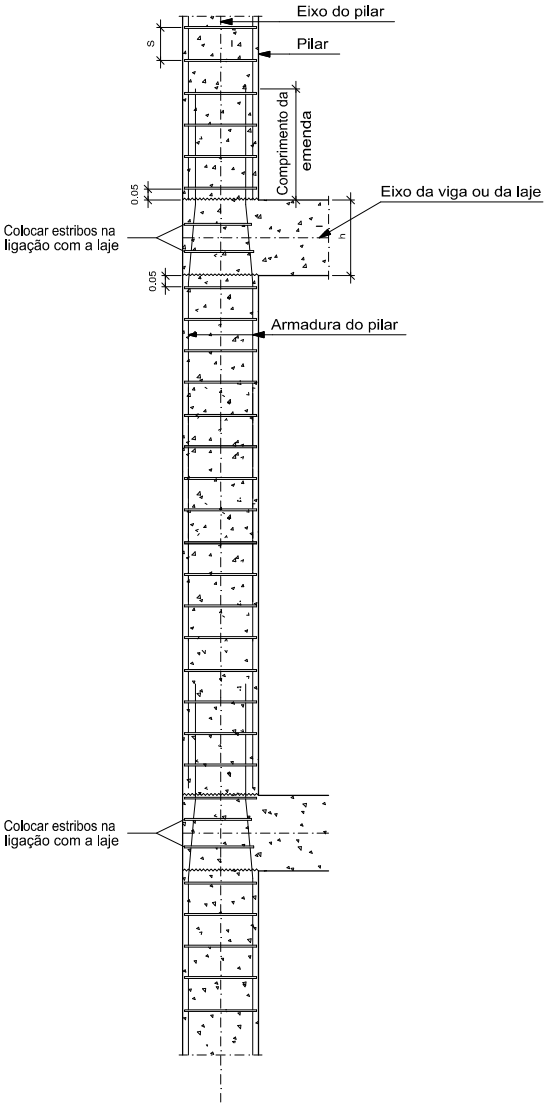
Tecto do RC

Tecto da Cave

Cave

Pormenor de estribos de pilares

esc.: 3/8



NP EN 206-1

Dmax15

S3

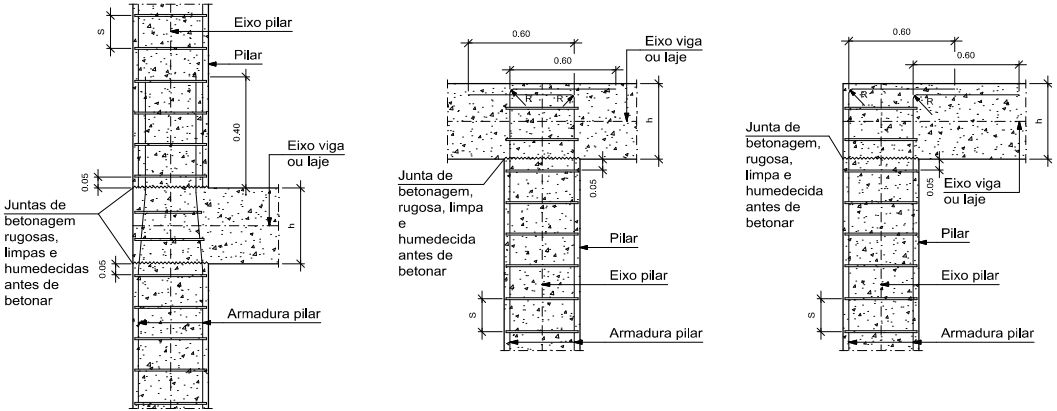
Recobrimento: 3 cm

Betão em Elementos: C25/30

Aços em Elementos: A400 NR

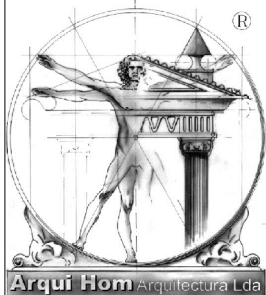
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

Esquema de armadura dos pilares em uniões com vigas e lajes.



esc.: 3/8

Projecto de Estabilidade



Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.: Nome do Requerente

substituído em :

designação:

Construção de uma Moradia

processo:

local:

Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra

data:

Setembro 2016

contém:

Quadro de Pilares

esc.:

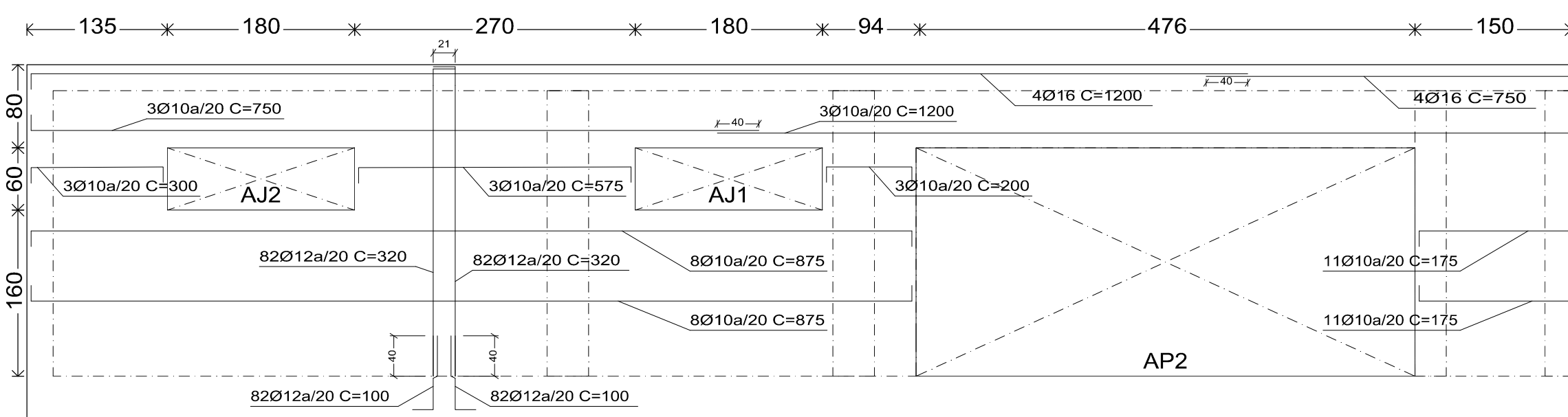
1/50

estagiário:

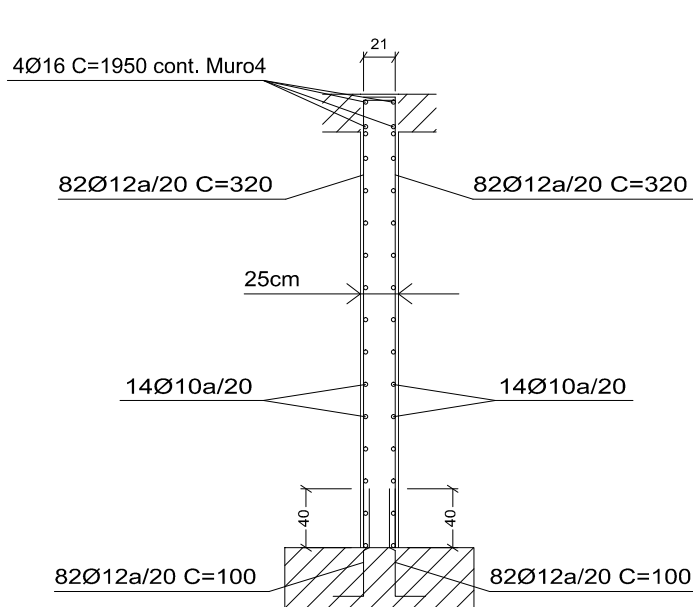
Hugo Filipe Gomes Major

folha n.º

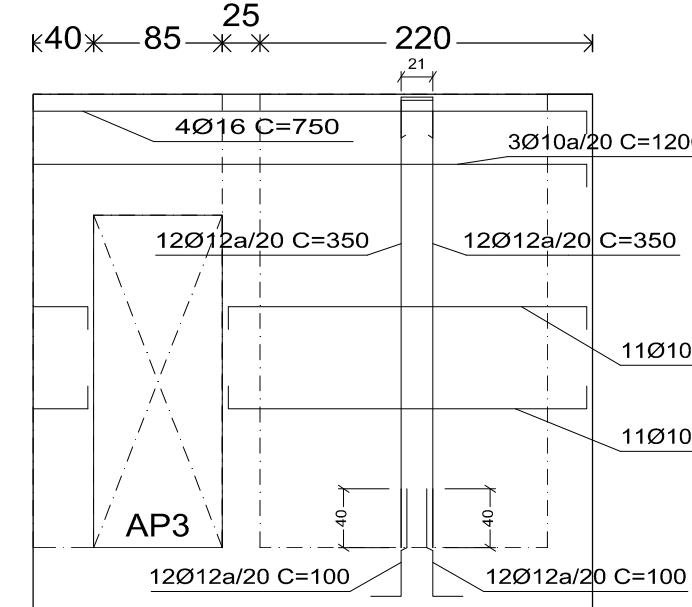
A-06



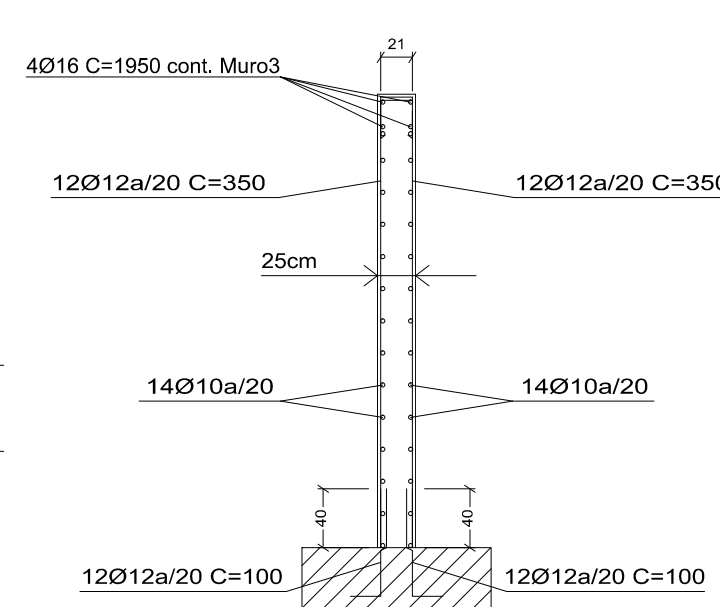
M3: Alçado



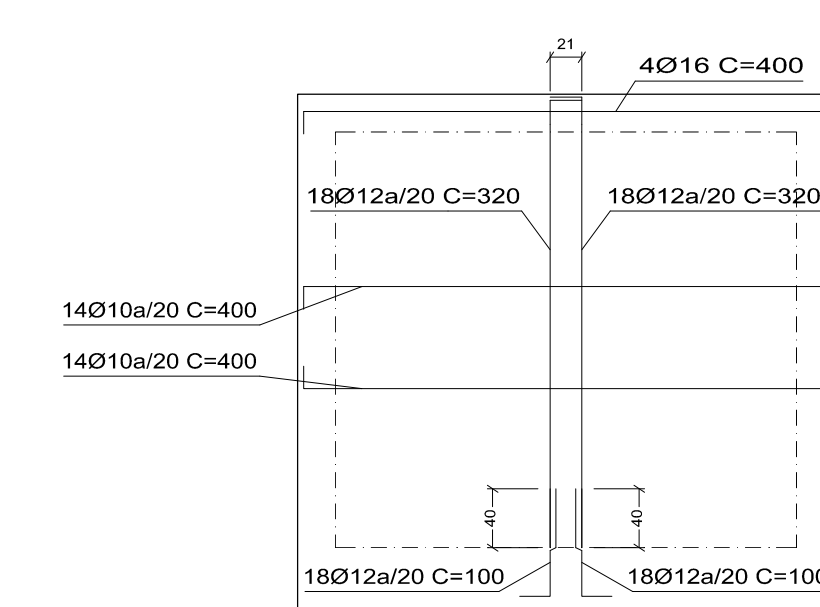
M3: Corte



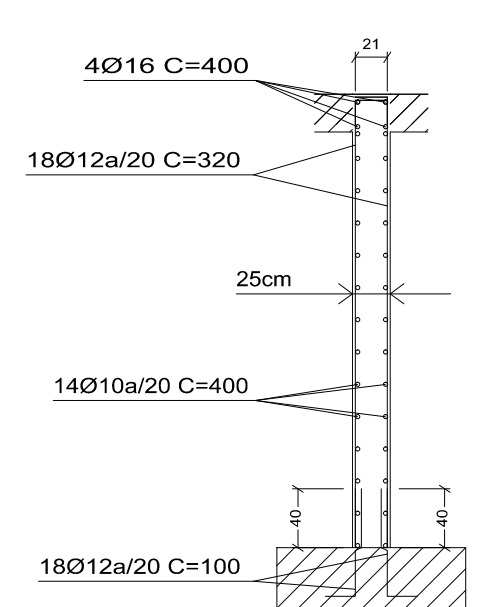
M4: Alçado



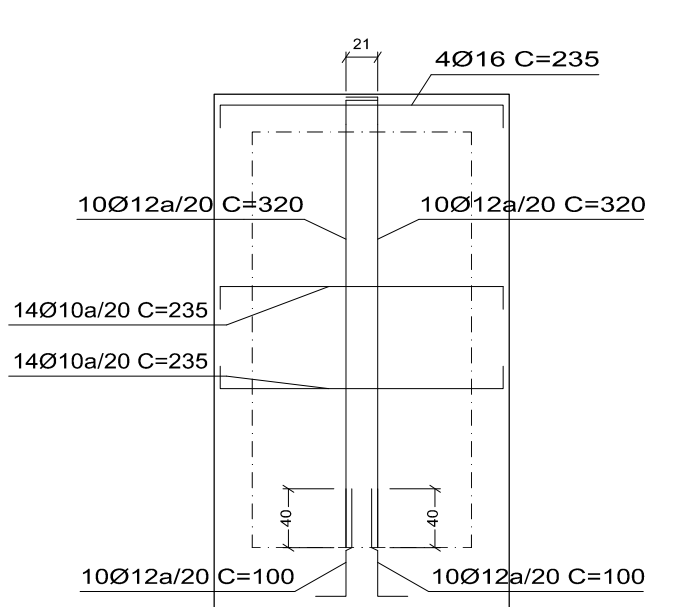
M4: Corte



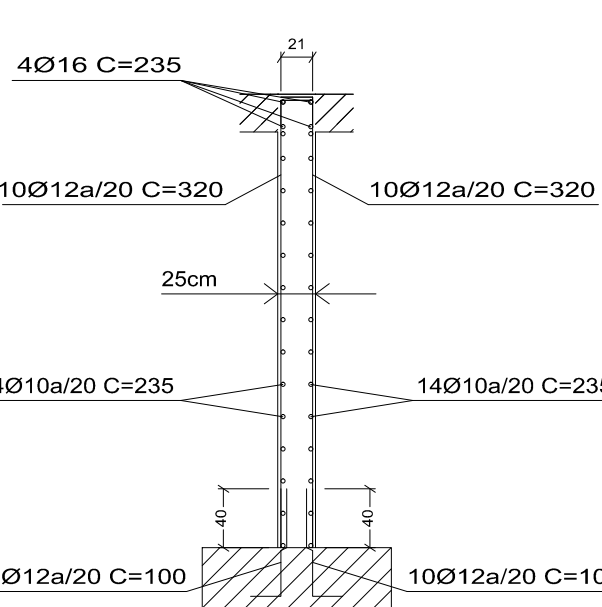
M5: Alçado



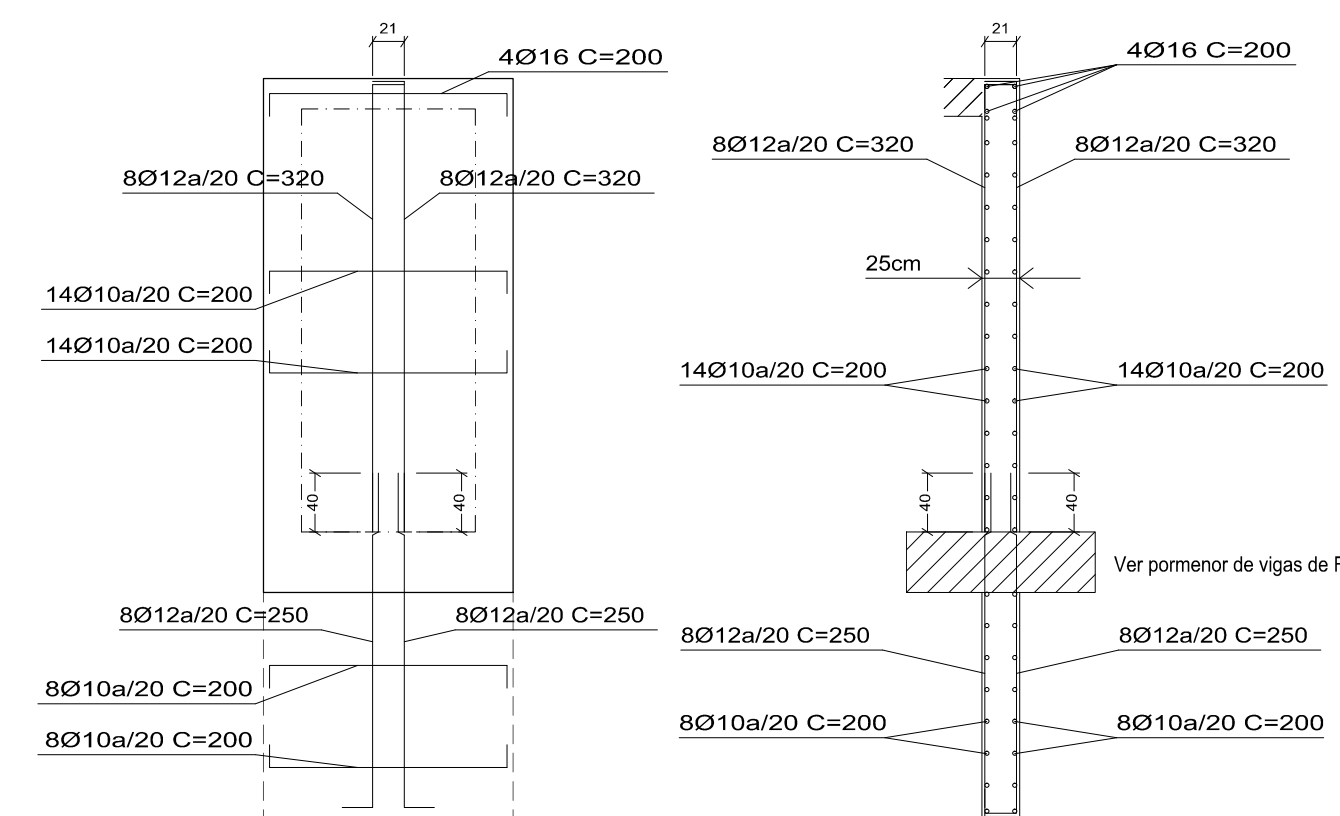
M5: Corte



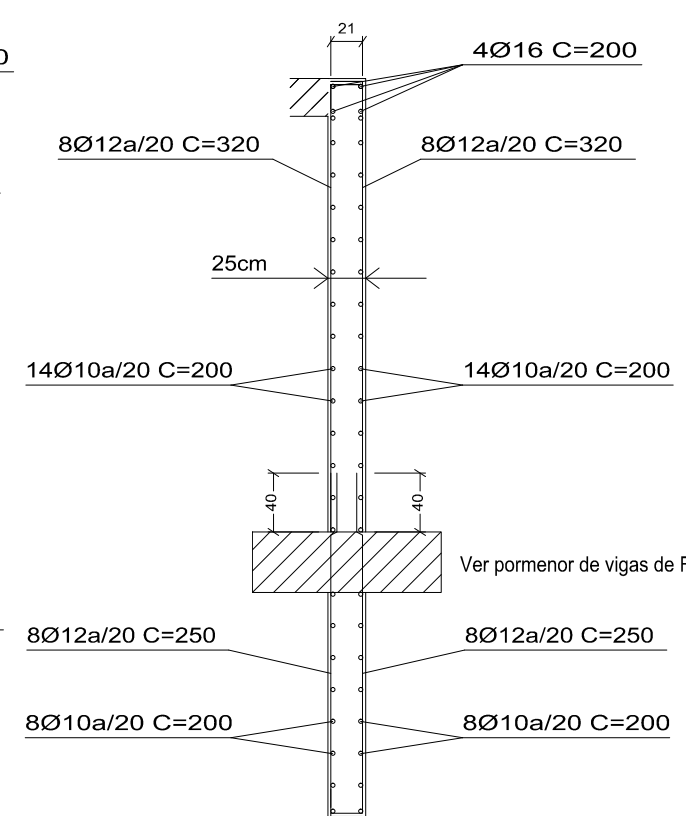
M6: Alçado



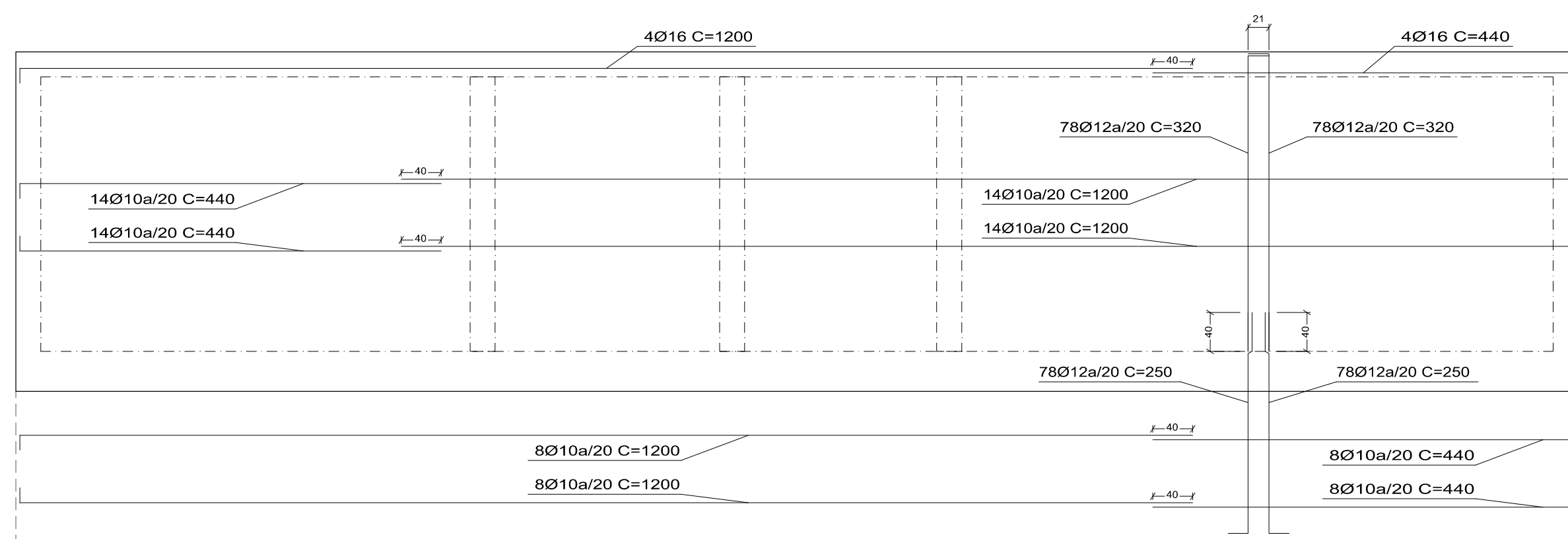
M6: Corte



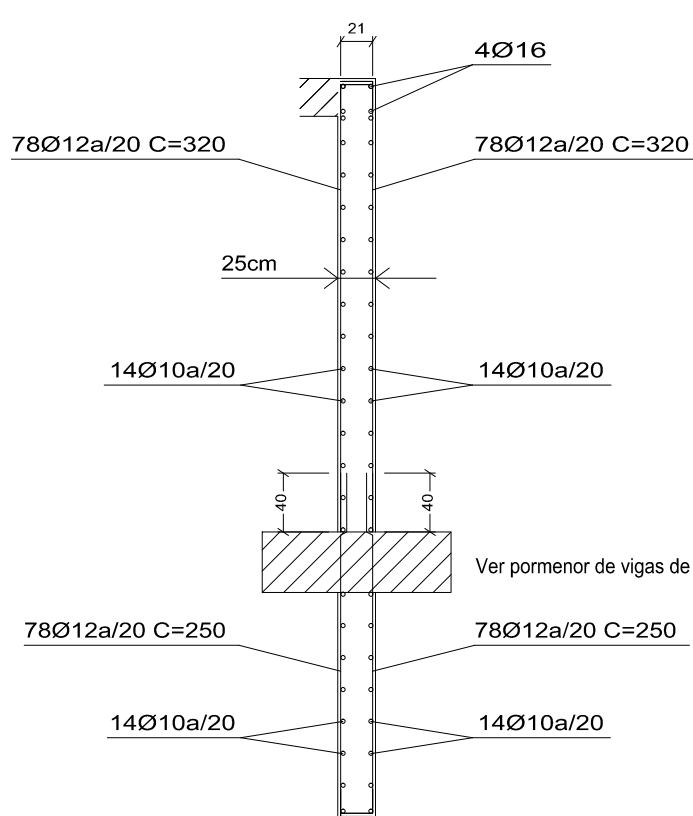
M7: Alçado



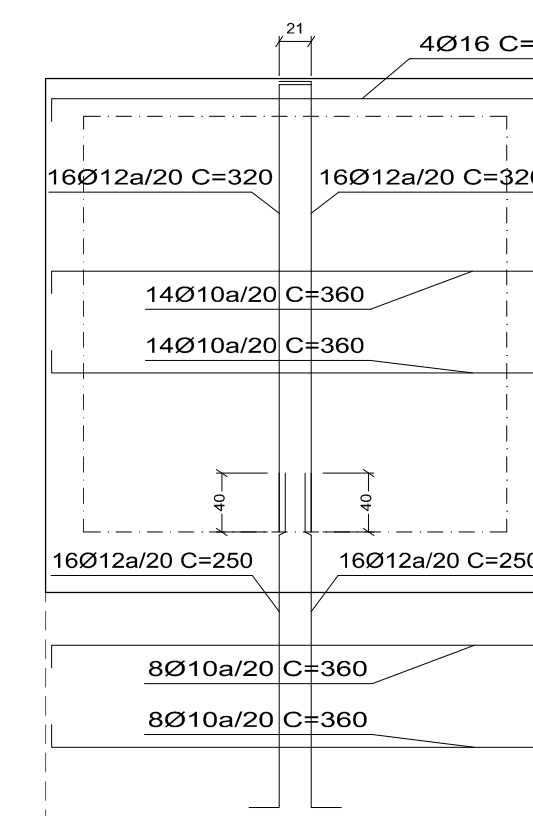
M7: Corte



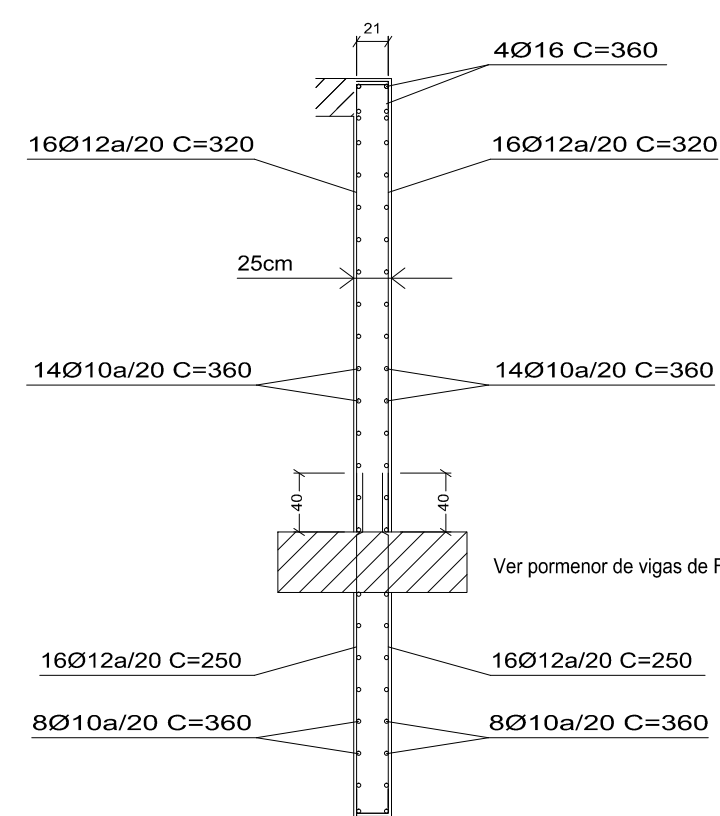
M10: Alçado



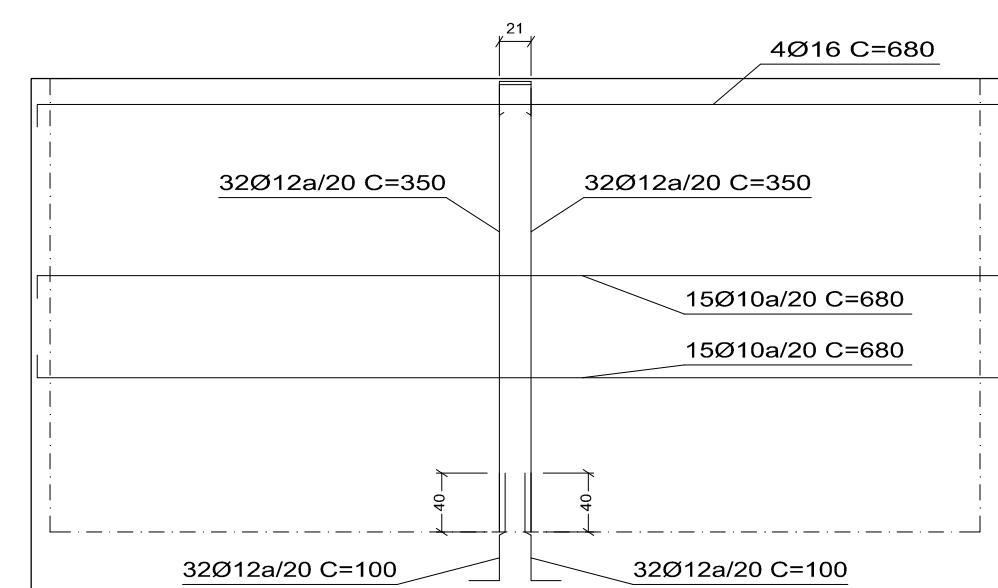
M10: Corte



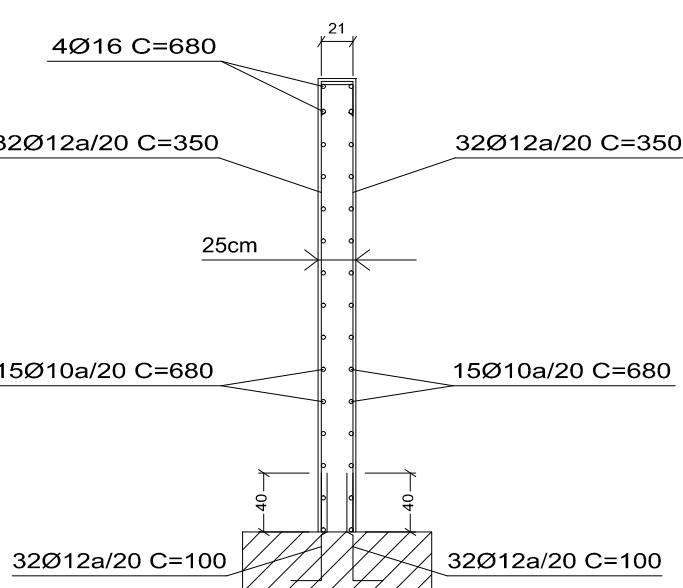
M11: Alçado



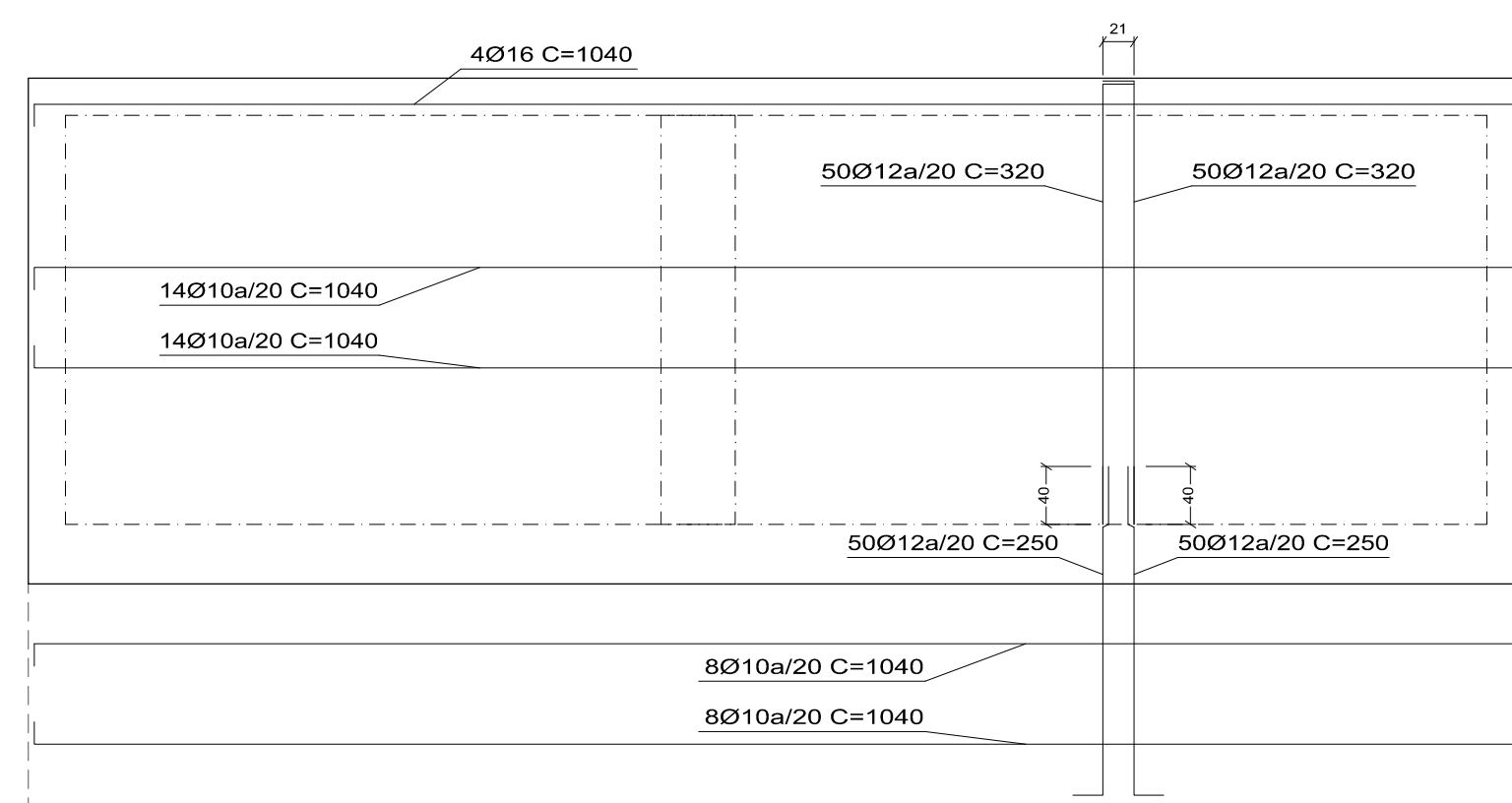
M11: Corte



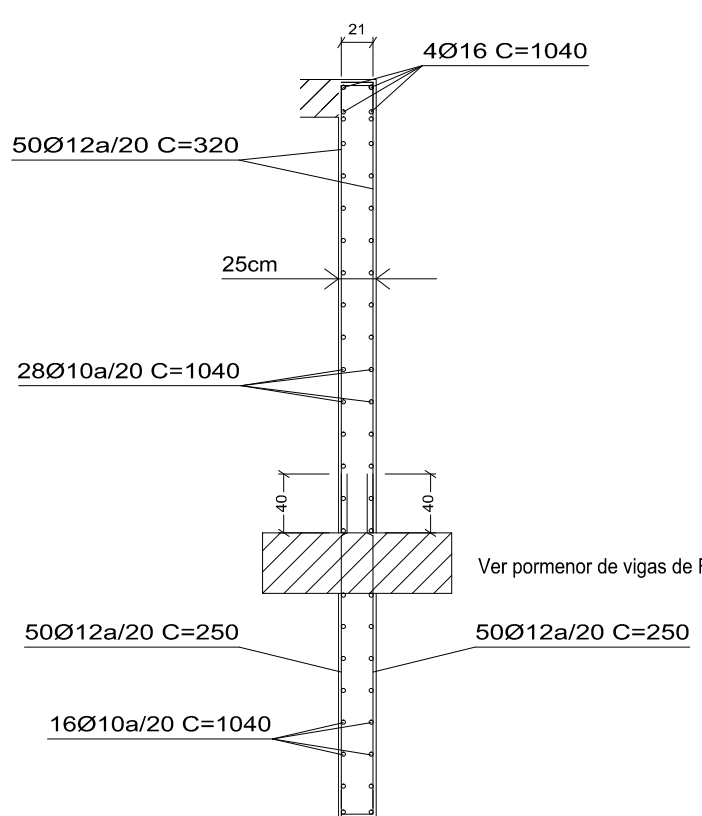
M12: Alçado



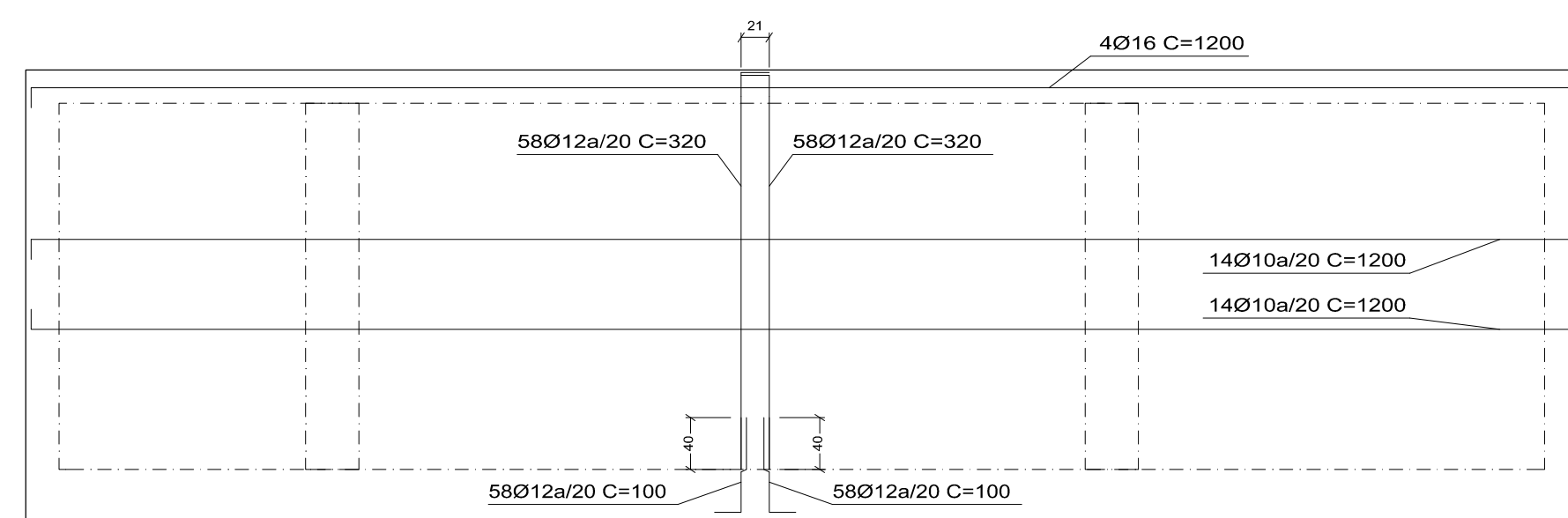
M12: Corte



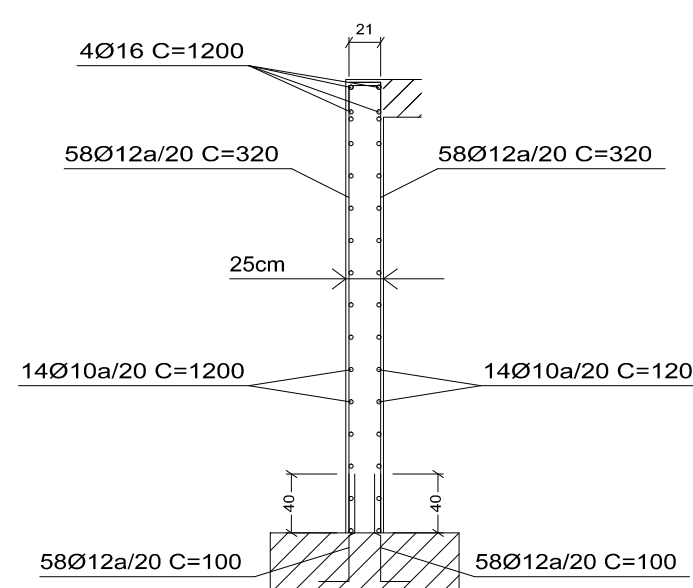
M14: Alçado



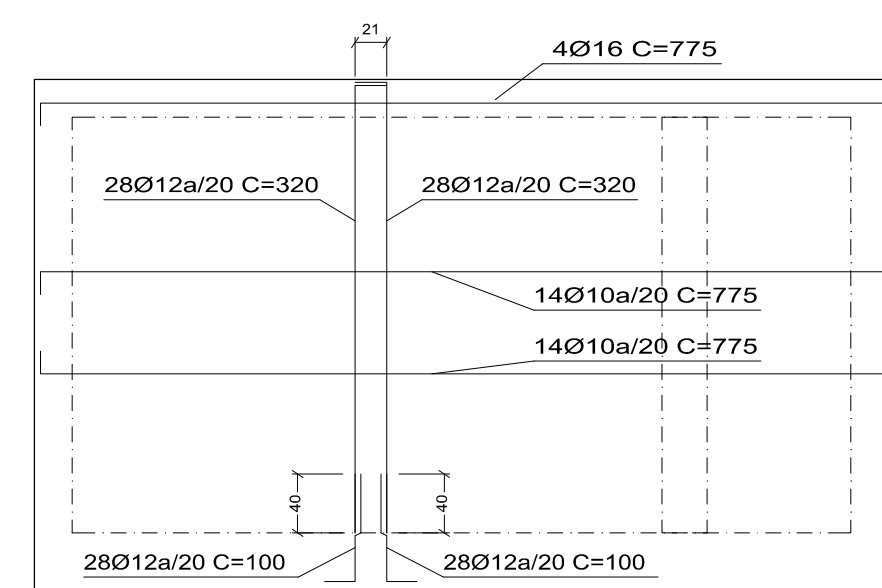
M14: Corte



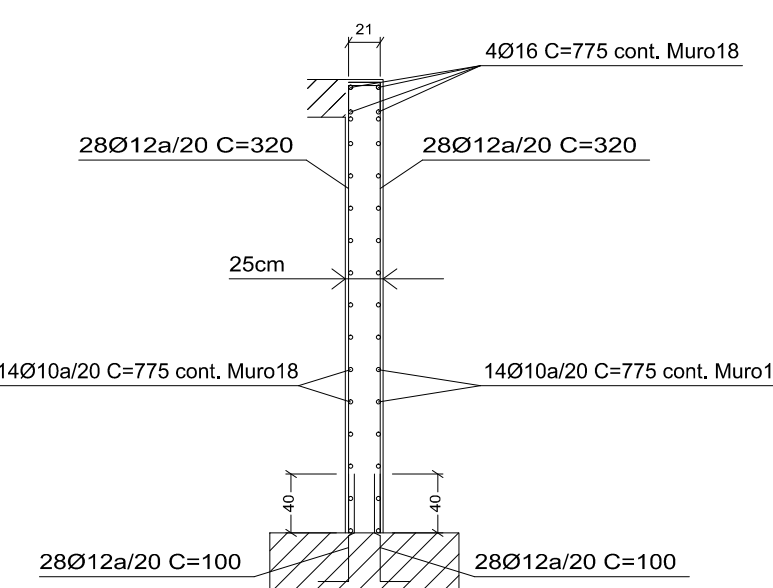
M16: Alçado



M16: Corte

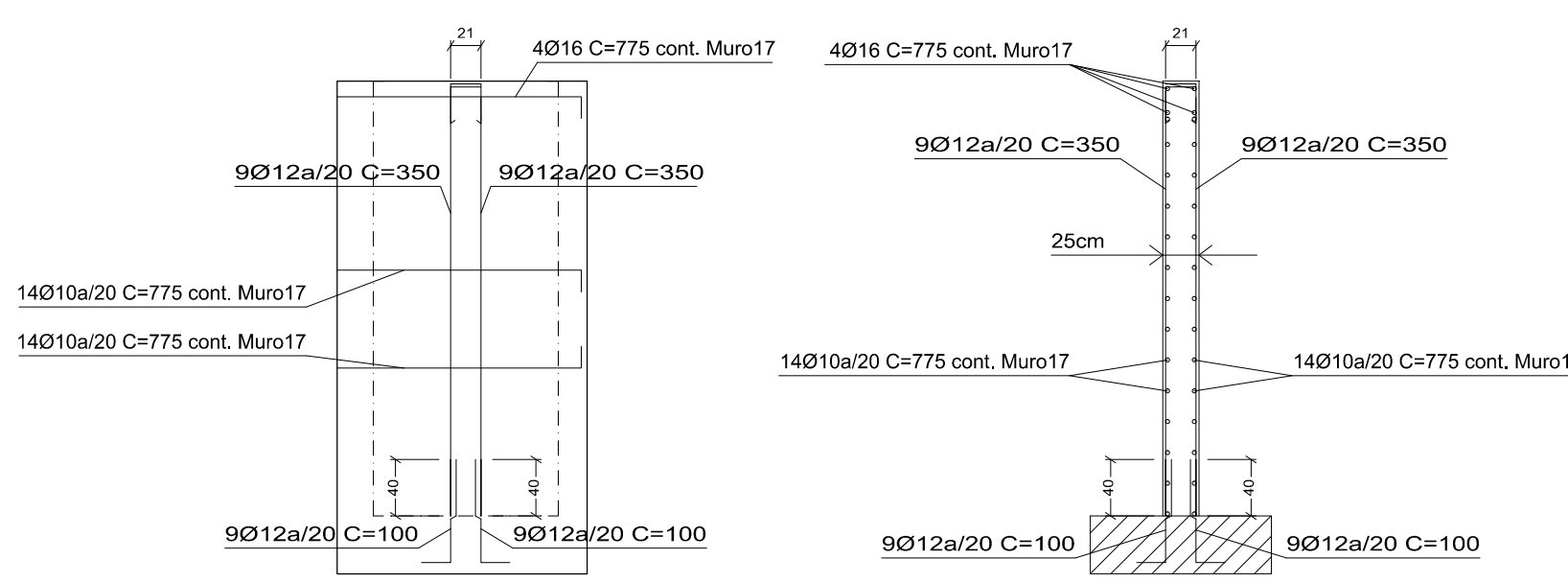


M17: Alçado

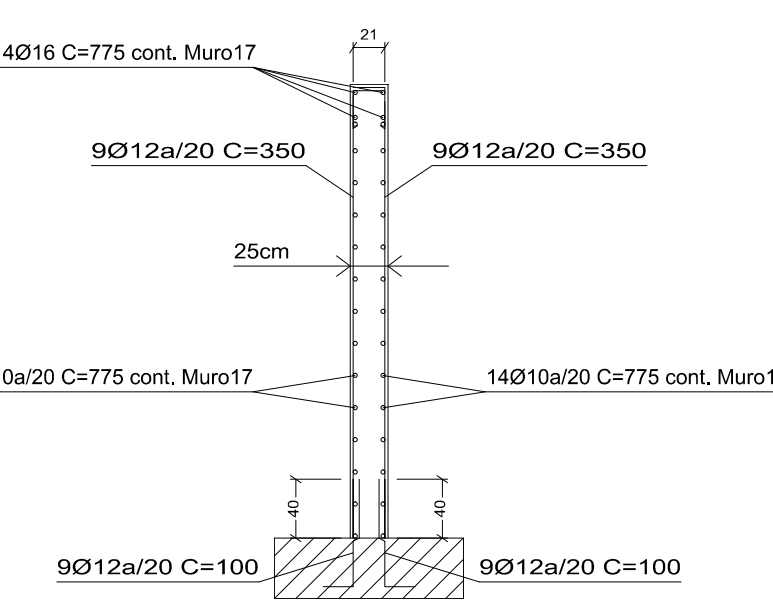


M17: Corte

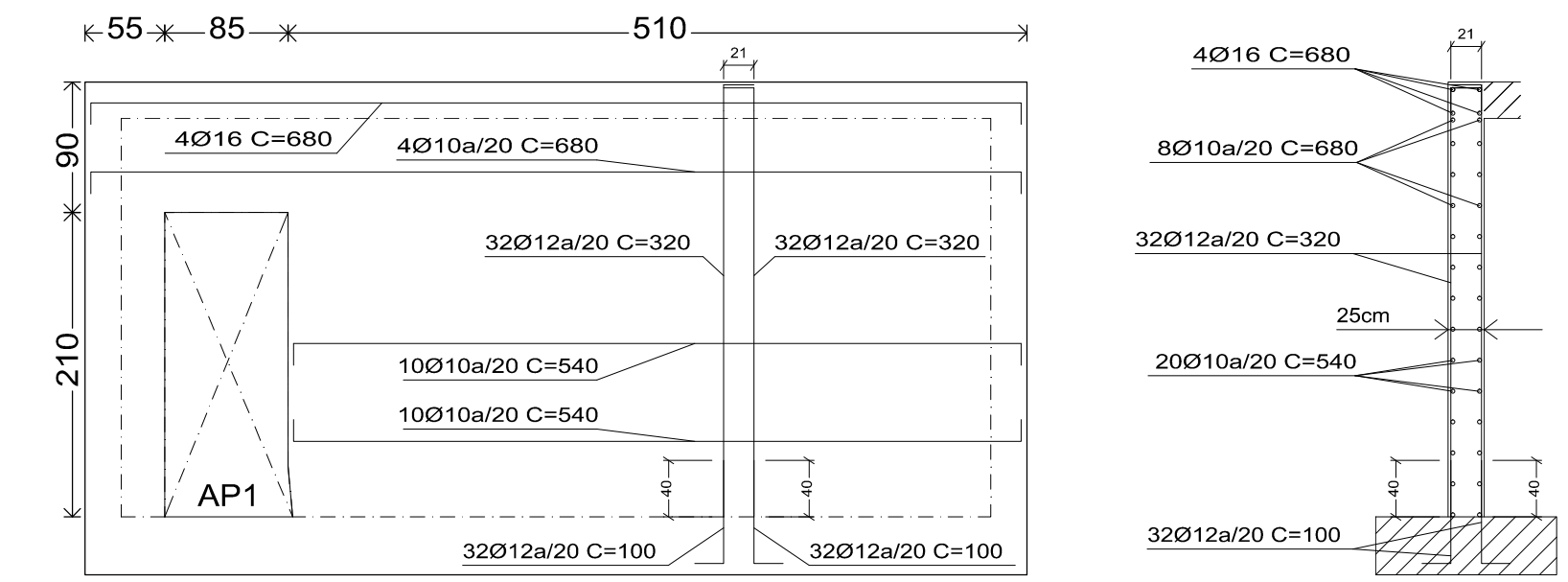
Reforço em aberturas de Muros	
Abertura em Portas - AP	Abertura em Janelas - AJ



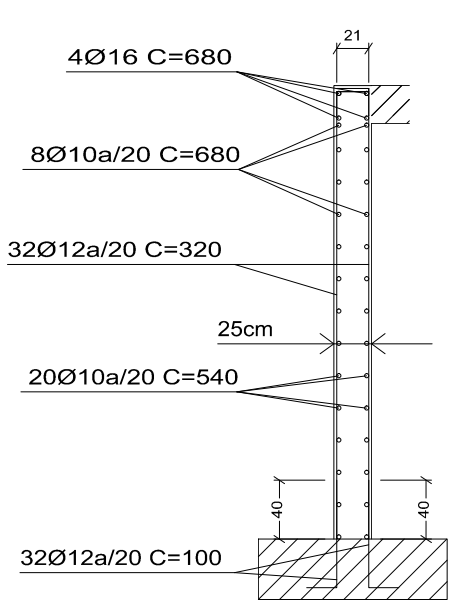
M18: Alçado



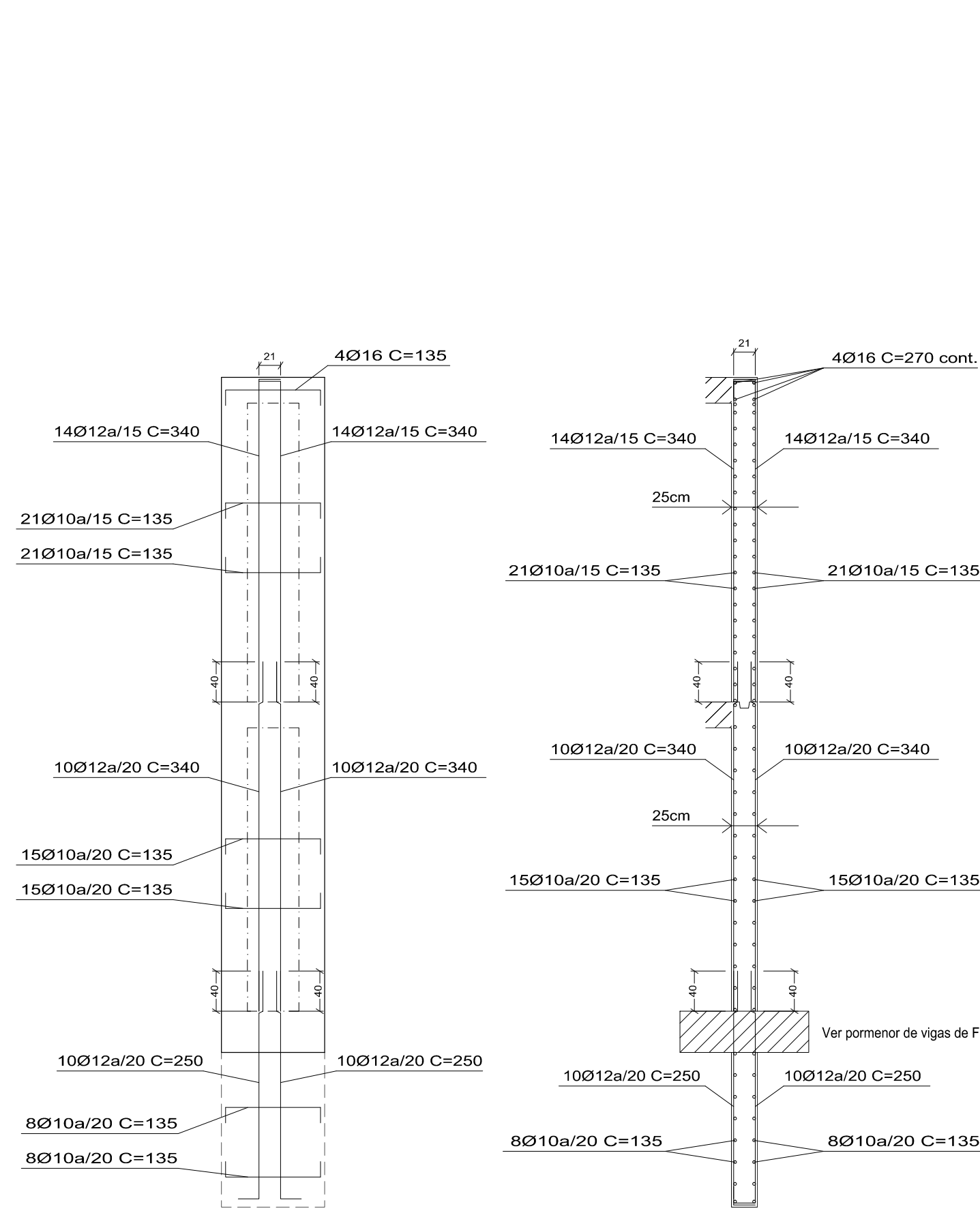
M18: Corte



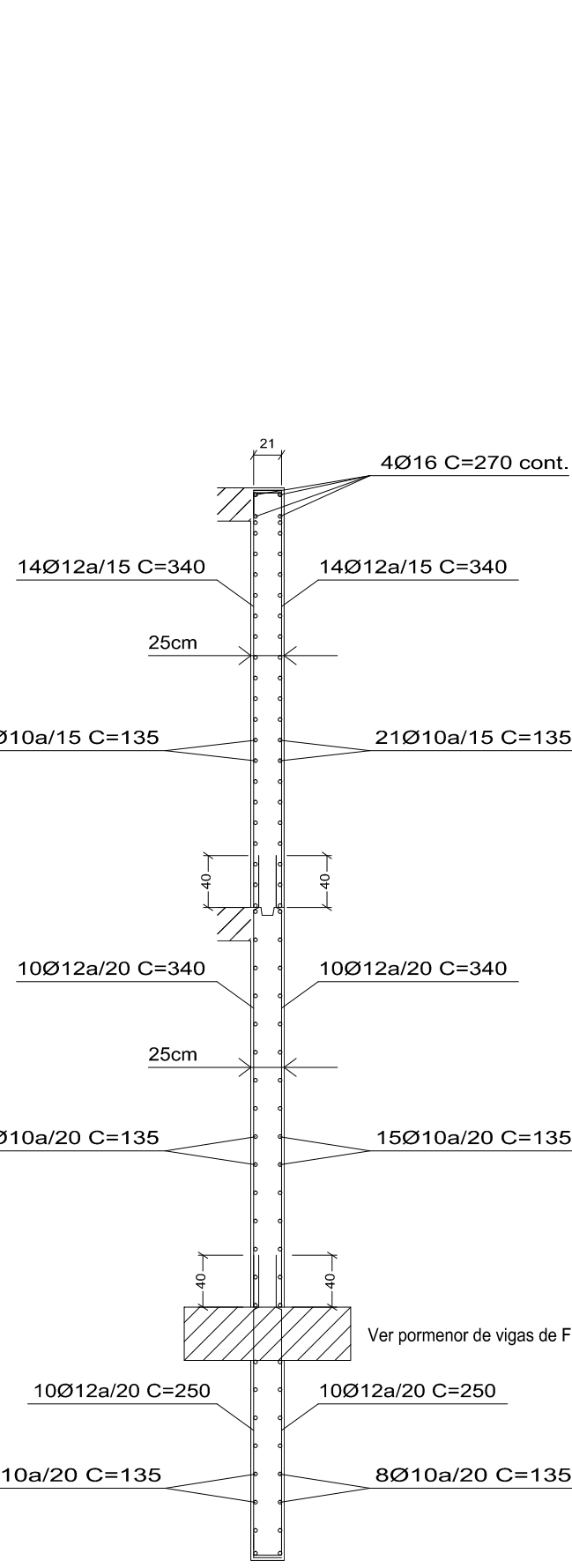
M23: Alçado



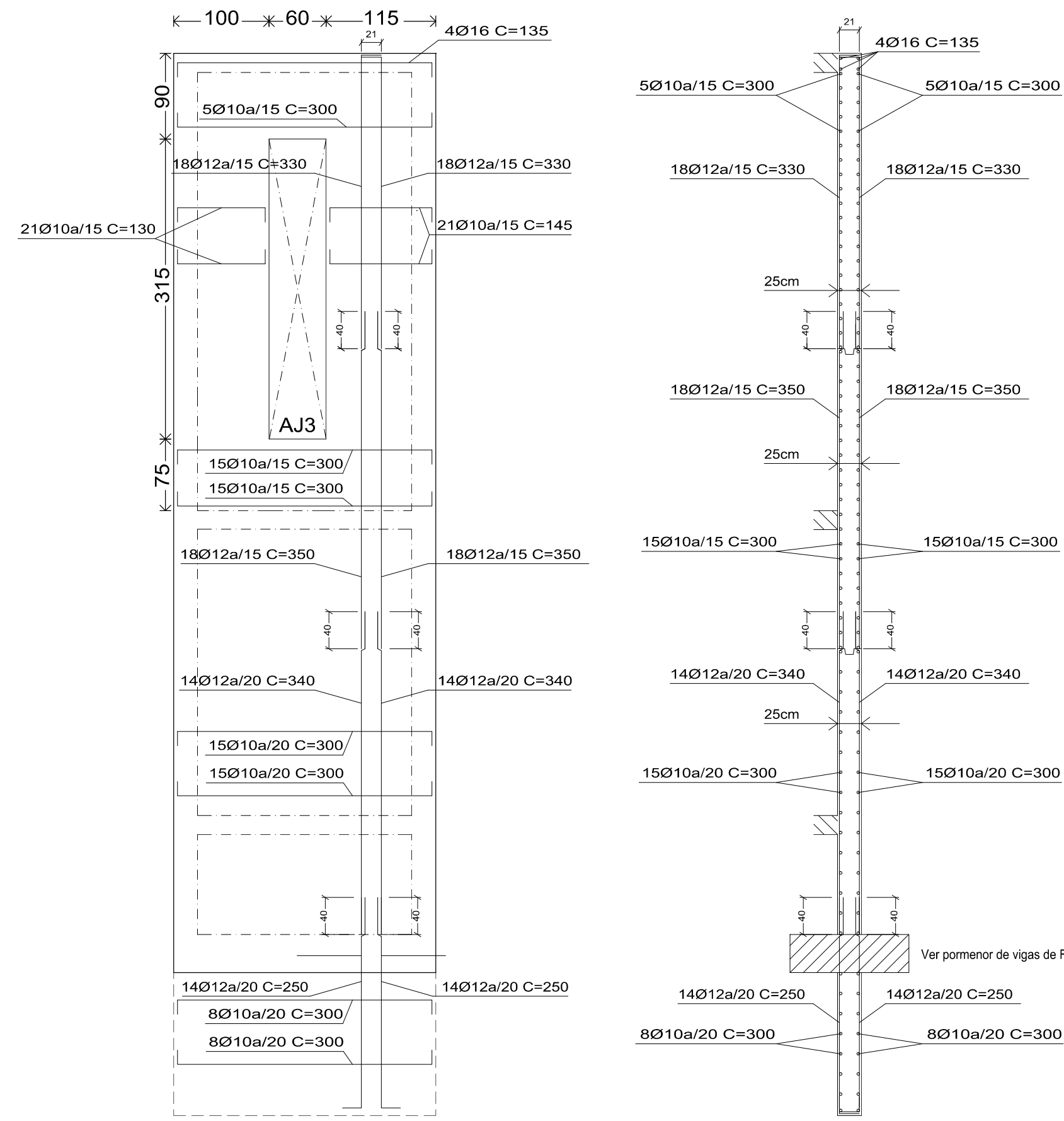
M23: Corte



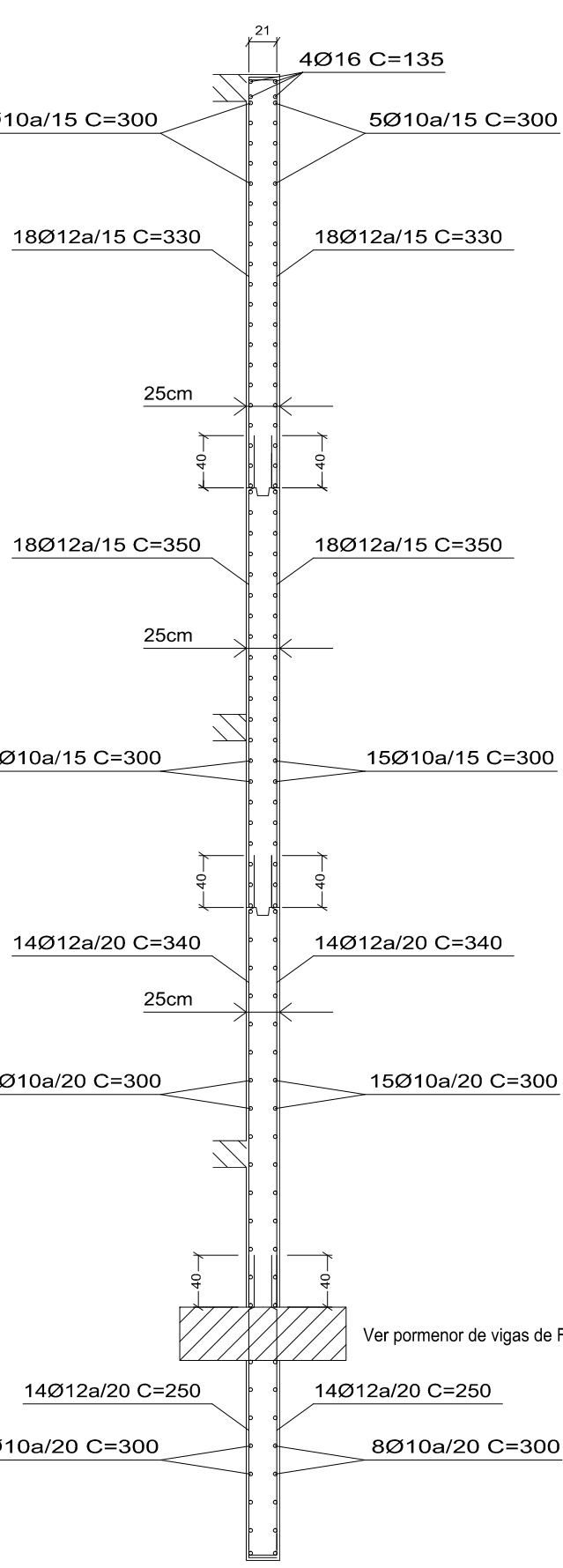
M19: Alçado



M19: Corte



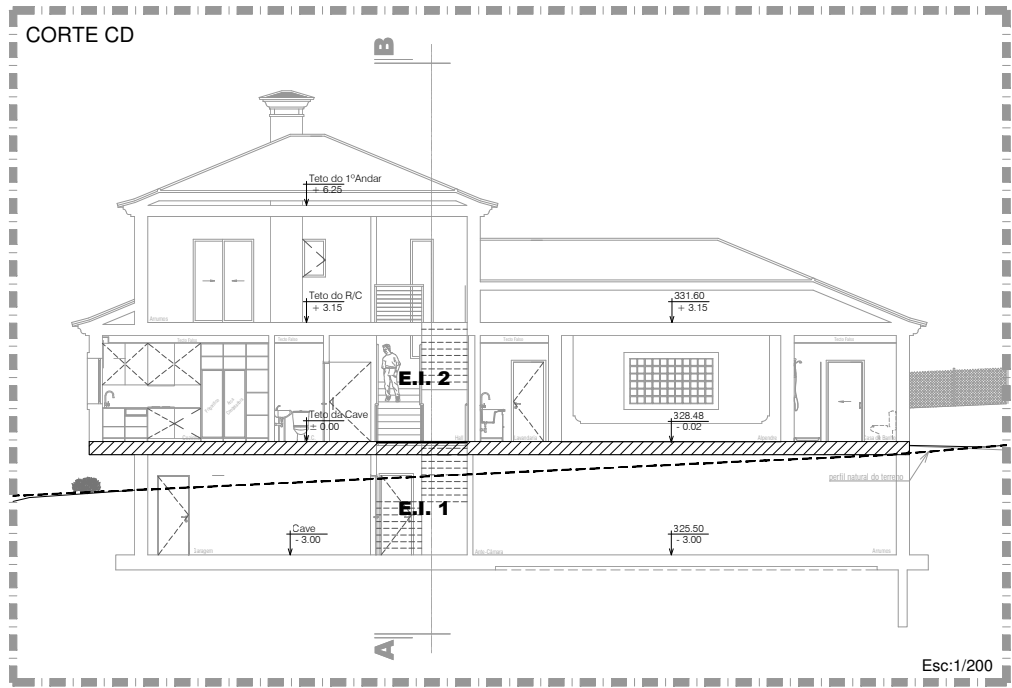
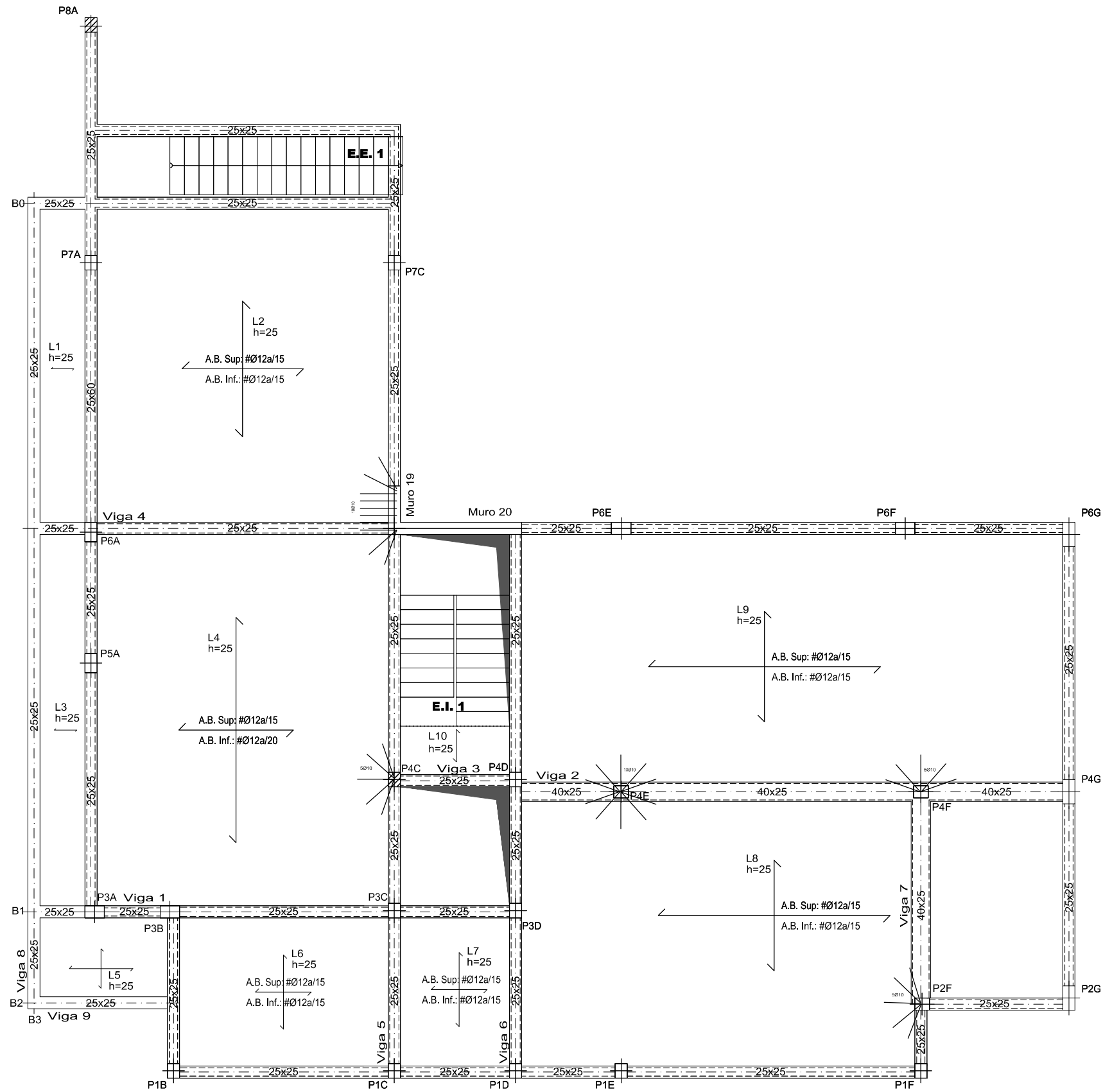
M20: Alçado



M20: Corte

NP-EN 206-1
XCA
CI 0,40
Dmax15
S3
Belo em Elementos: C30/37
Aço em Elementos: A40 NR

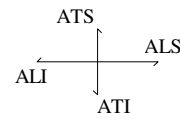
Projecto de Estabilidade			
requerente:	Nome do Requerente	substituído em:	
desenho:	Construção de uma Moradia	processo:	
local:	Rua da Chameca - Donatário: Santa Catarina da Serra	data:	Setembro 2016
conteúdo:	Pormenorização de Muros de Betão e Reforço das Aberturas	escala:	1/50
projetista:	Hugo Filipe Gomes Major	data:	



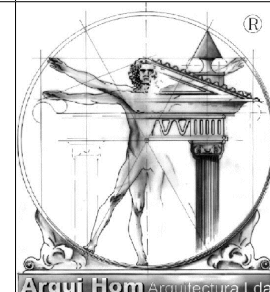
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Teto da Cave
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal:(ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal:(ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

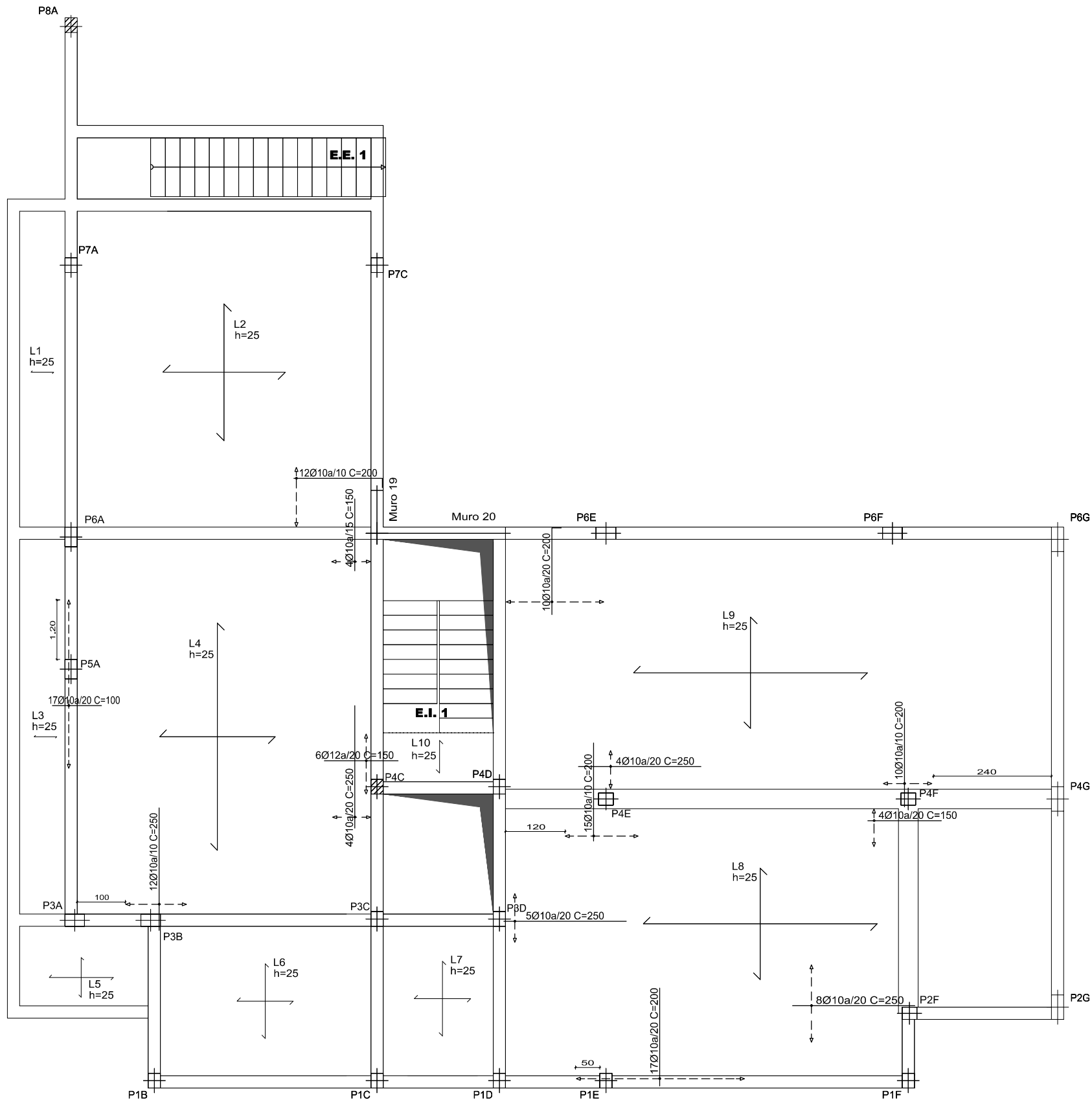


Projecto de Arquitectura

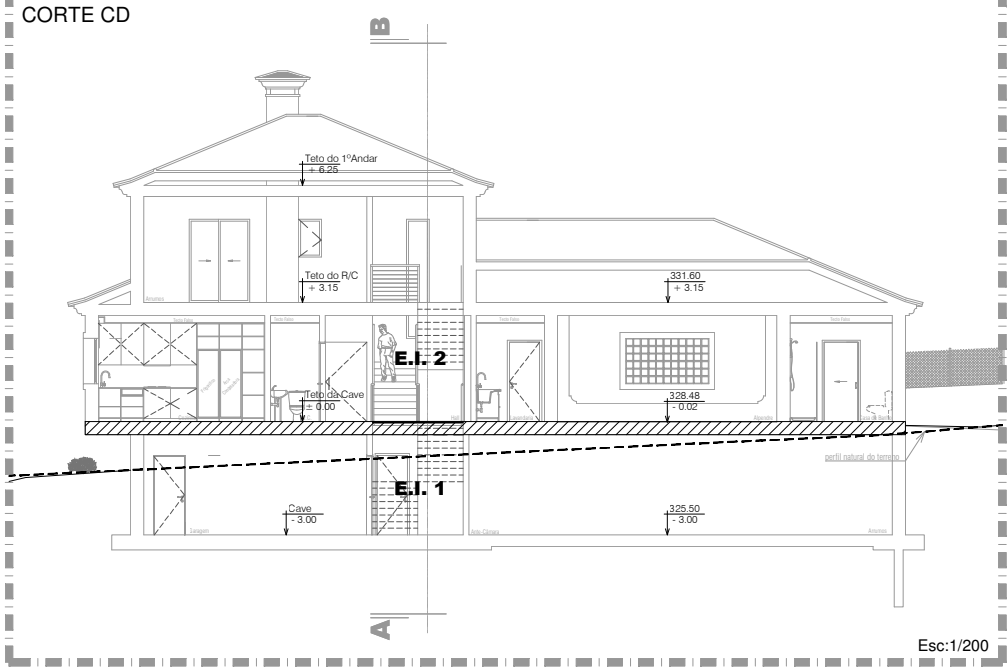


Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Armadura Base Teto da Cave	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-08



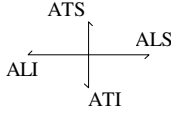
Nota:
Não necessita de Armadura de Reforço Transversal e Longitudinal Inferior



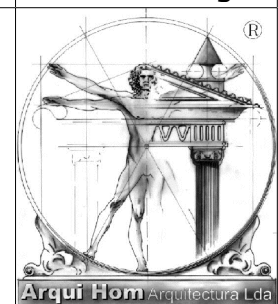
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Teto da Cave
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100



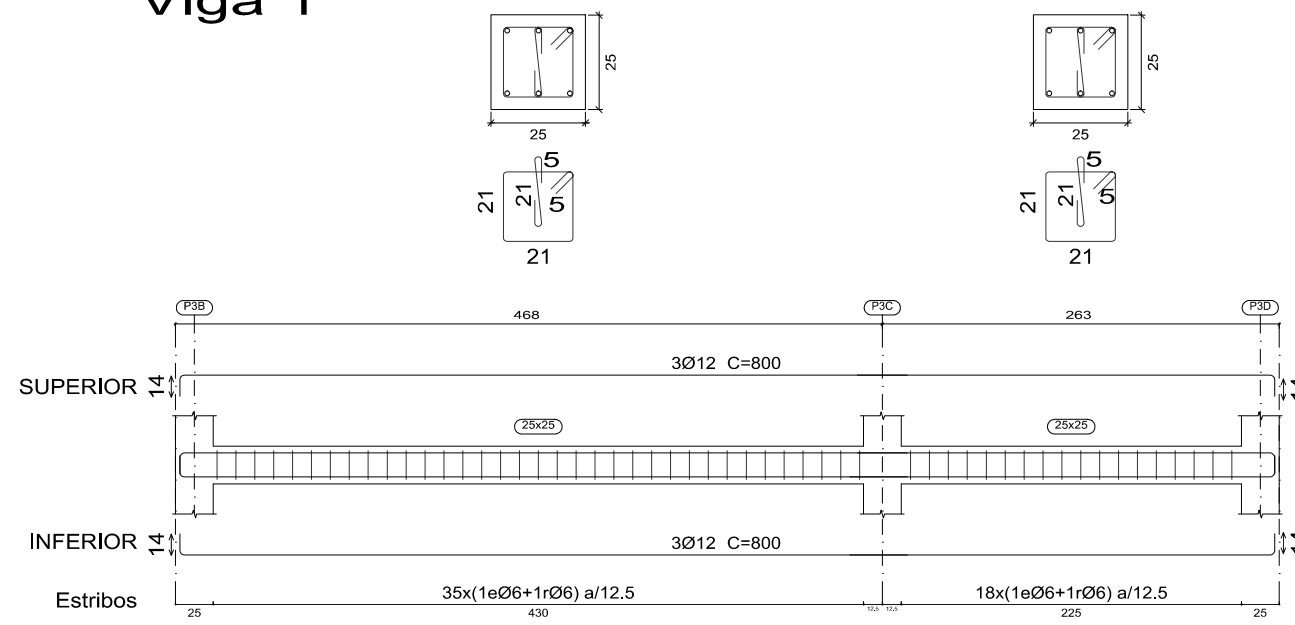
Projecto de Arquitectura



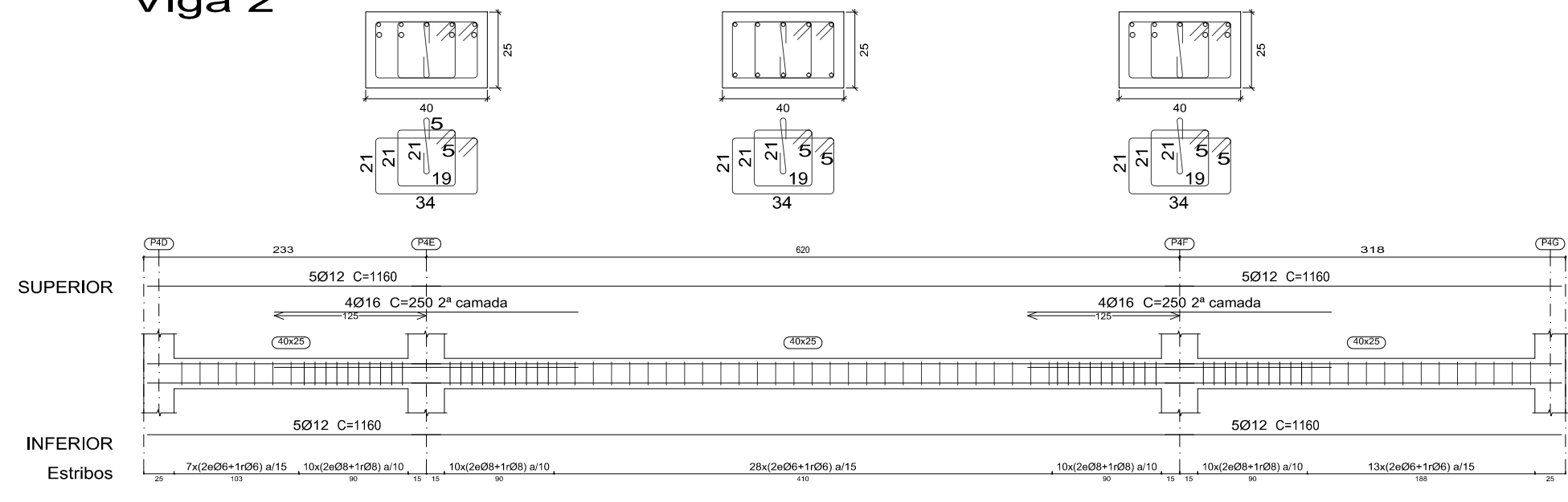
Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Arm. Reforço Trans. e Long. Superior Teto da Cave	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-09

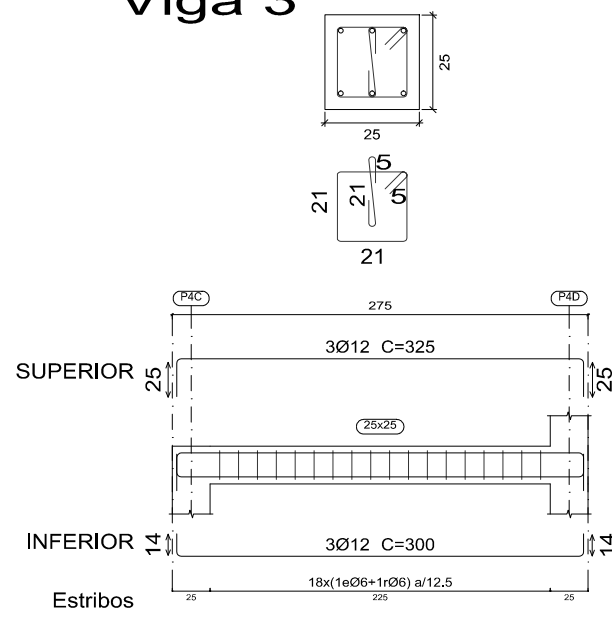
Viga 1



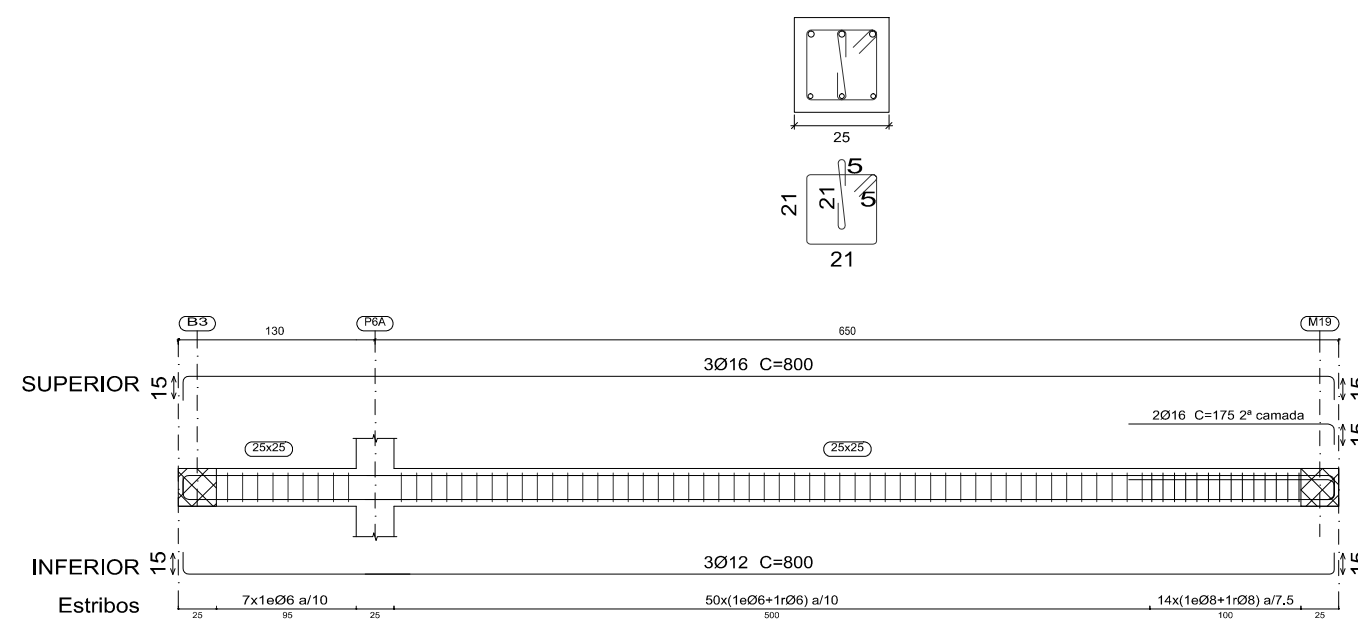
Viga 2



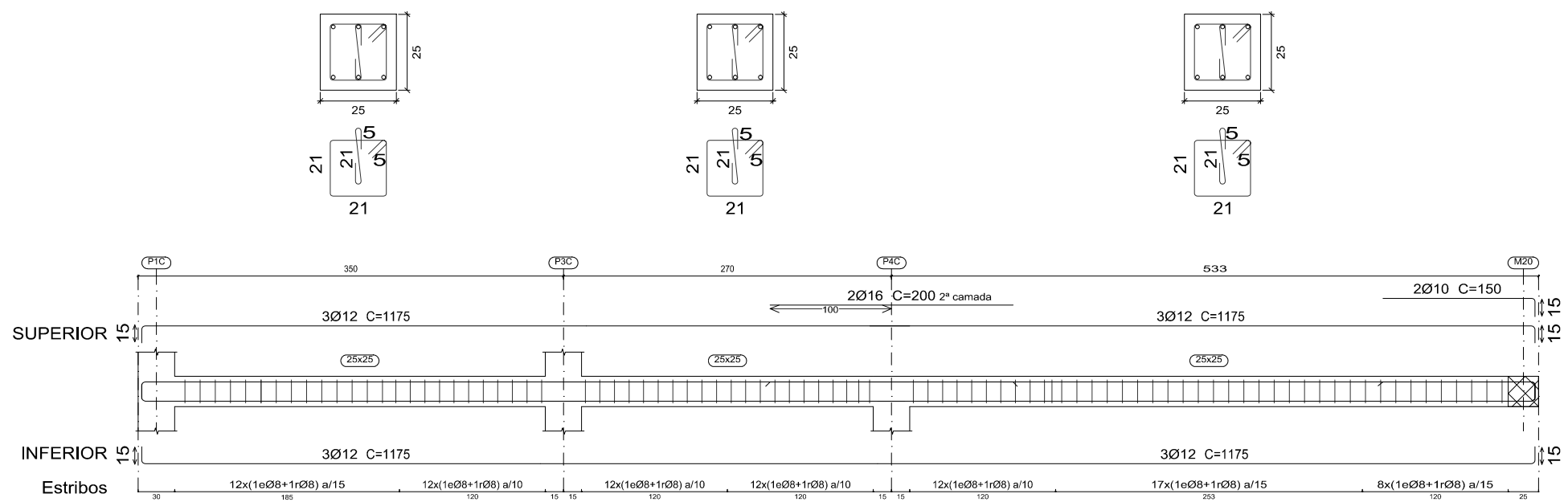
Viga 3



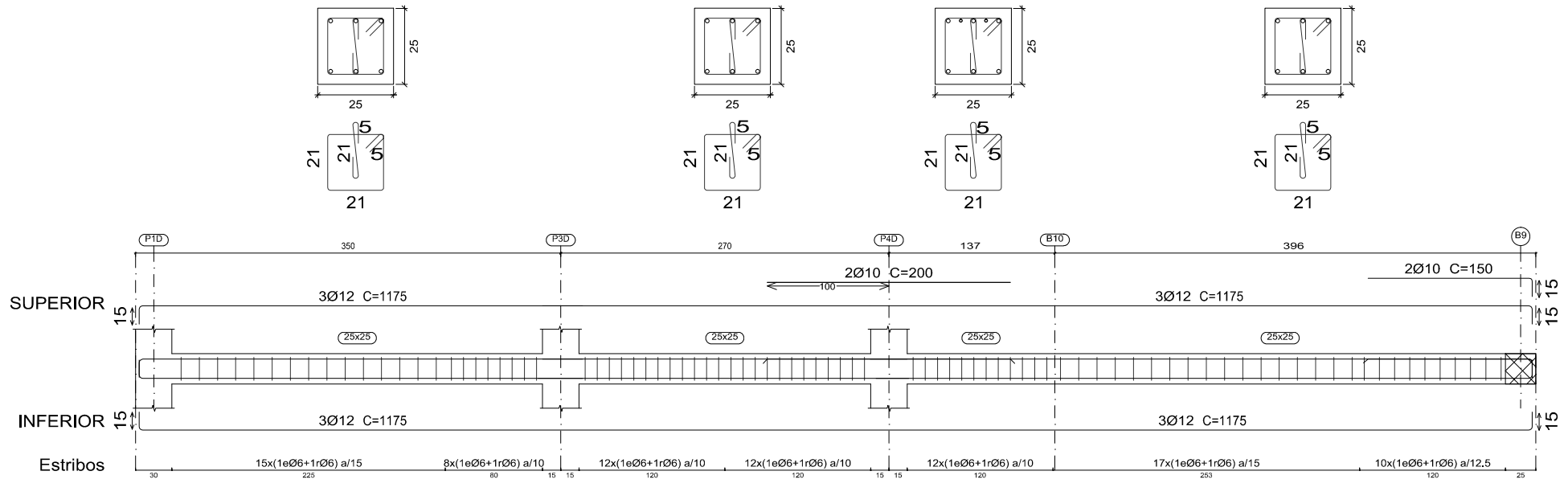
Viga 4



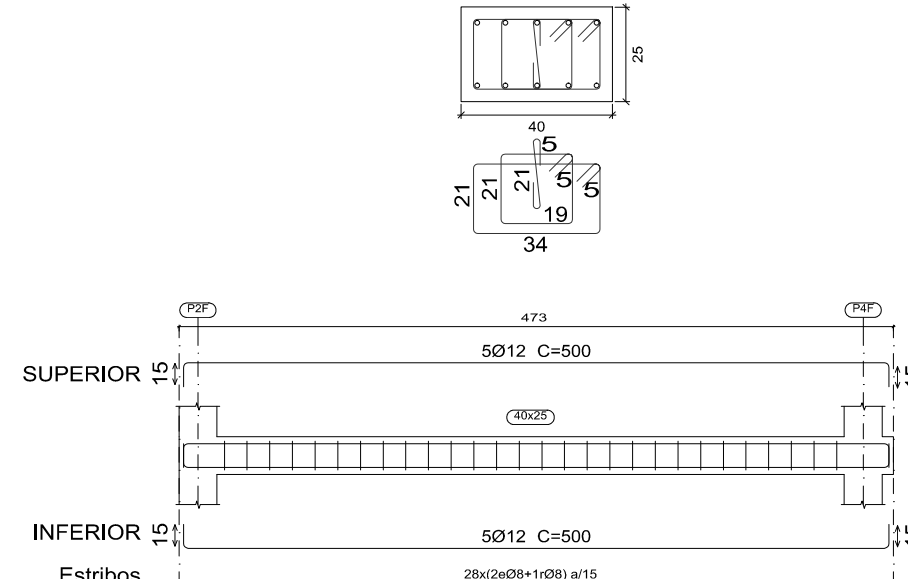
Viga 5



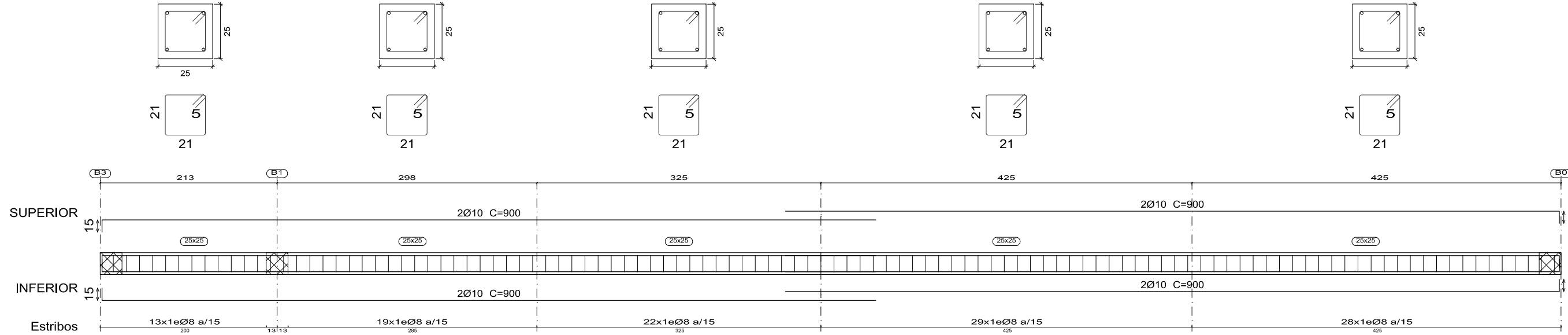
Viga 6



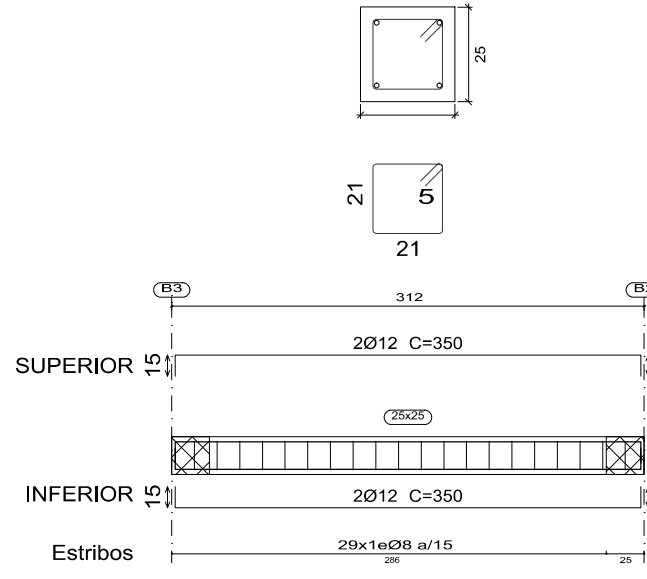
Viga 7



Viga 8



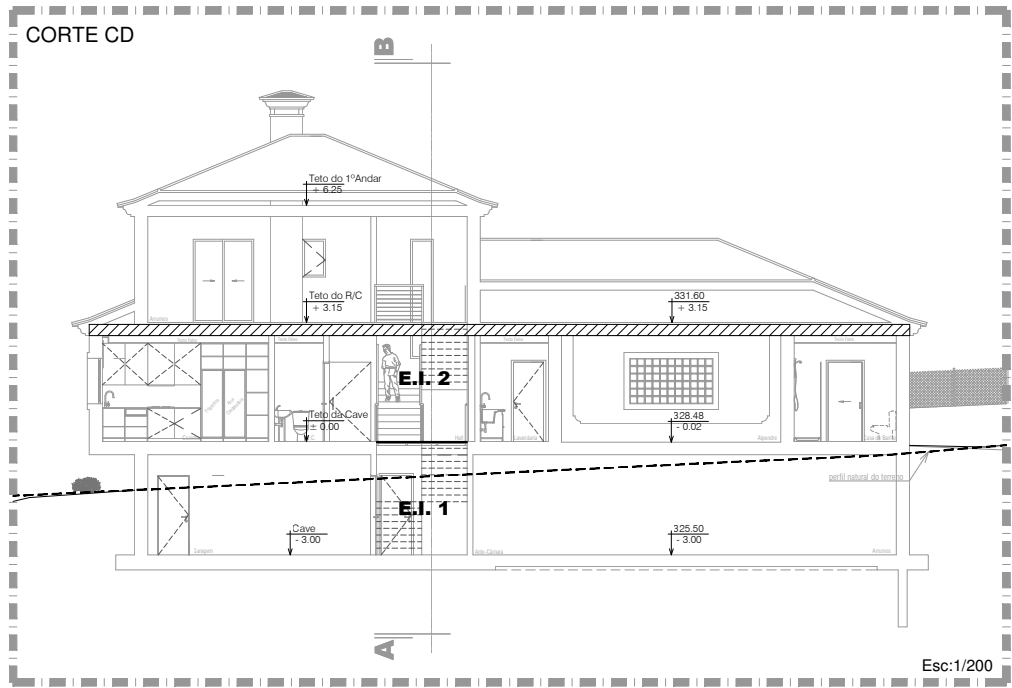
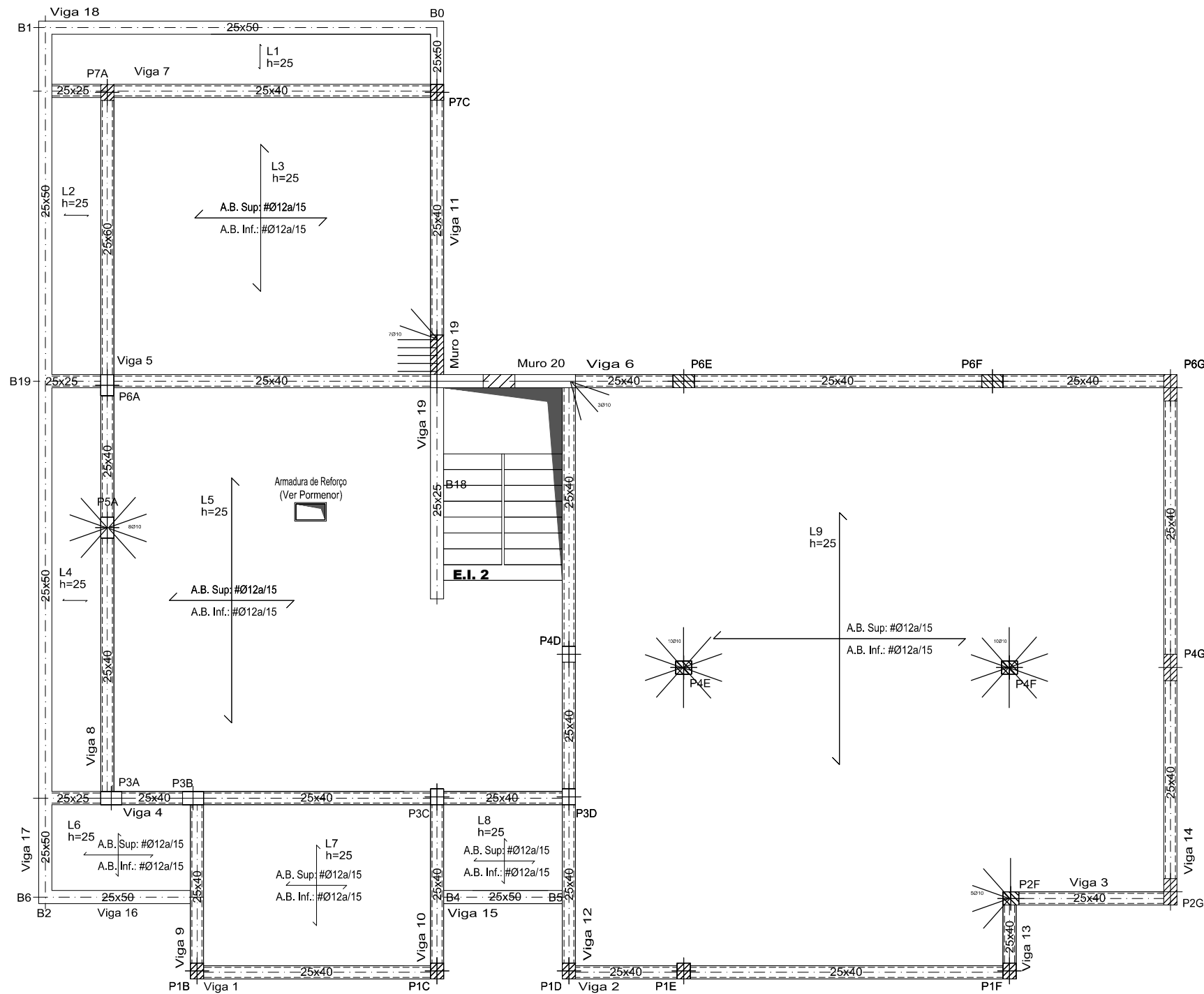
Viga 9



Escala pórticos: 1:50
Escala secções: 1:20

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR

Projecto de Estabilidade			
	requerente:	Nome do Requerente	substituído em:
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data:
	conteúdo:	Armadura de Vigas Planta da Cave	escala:
Elaborado por: Hugo Filipe Gomes Major		1/20 e 1/50	
A-10			



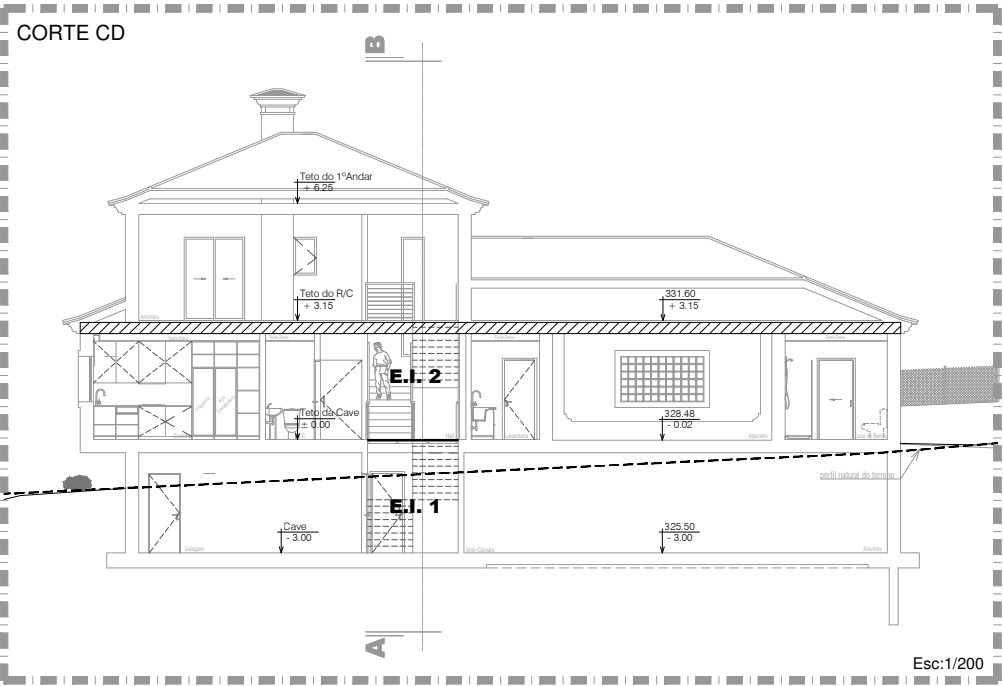
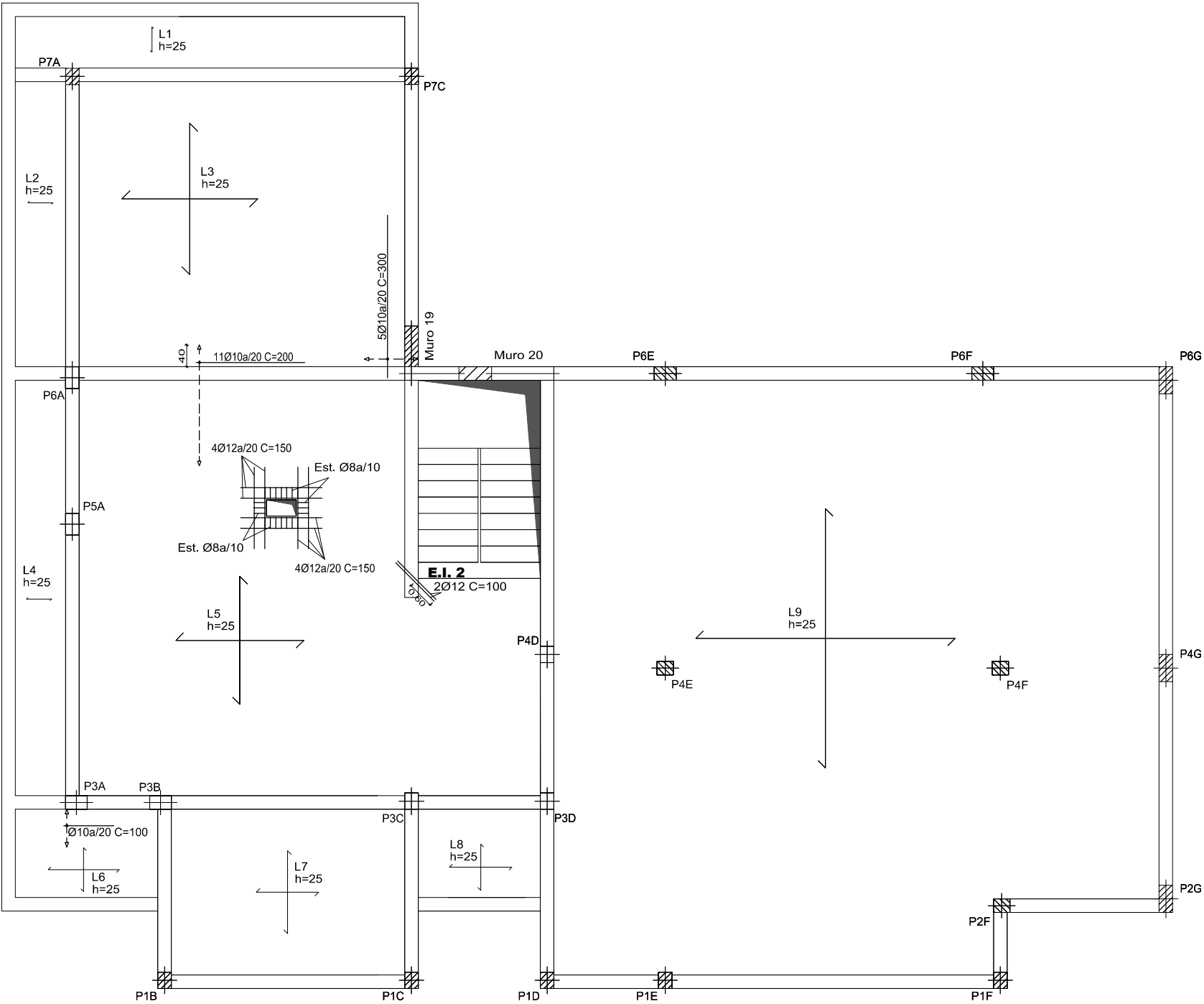
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Teto do Rés-do-Chão
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

Projecto de Arquitectura

	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Armadura Base Teto do Rés-do-Chão	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha nº A-11

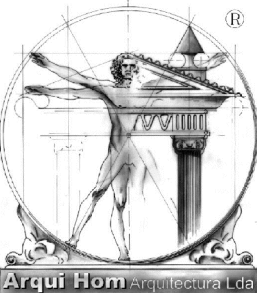


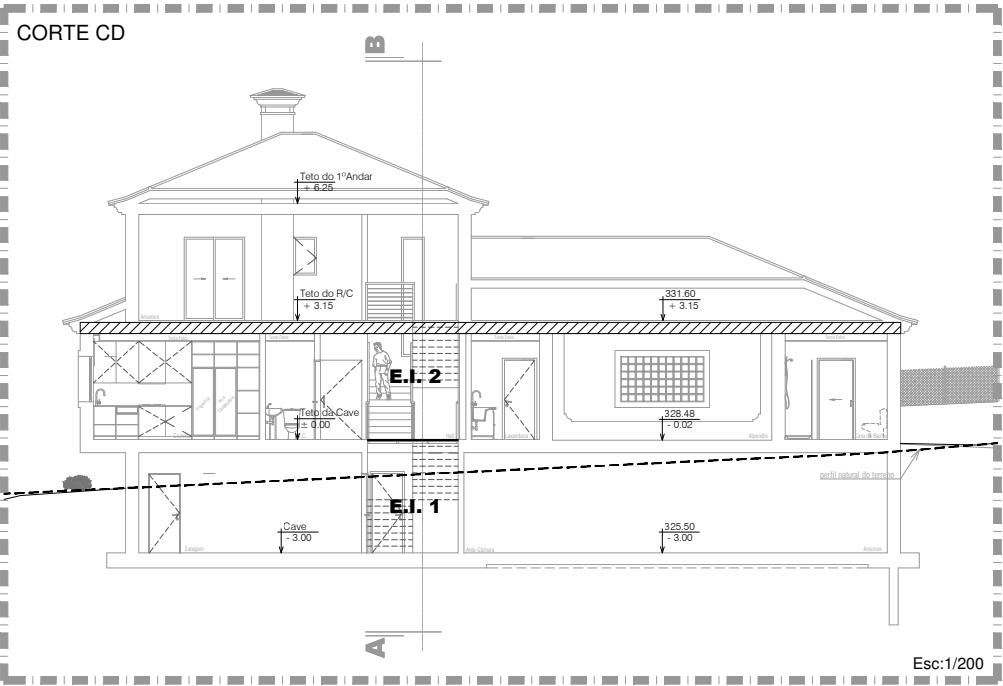
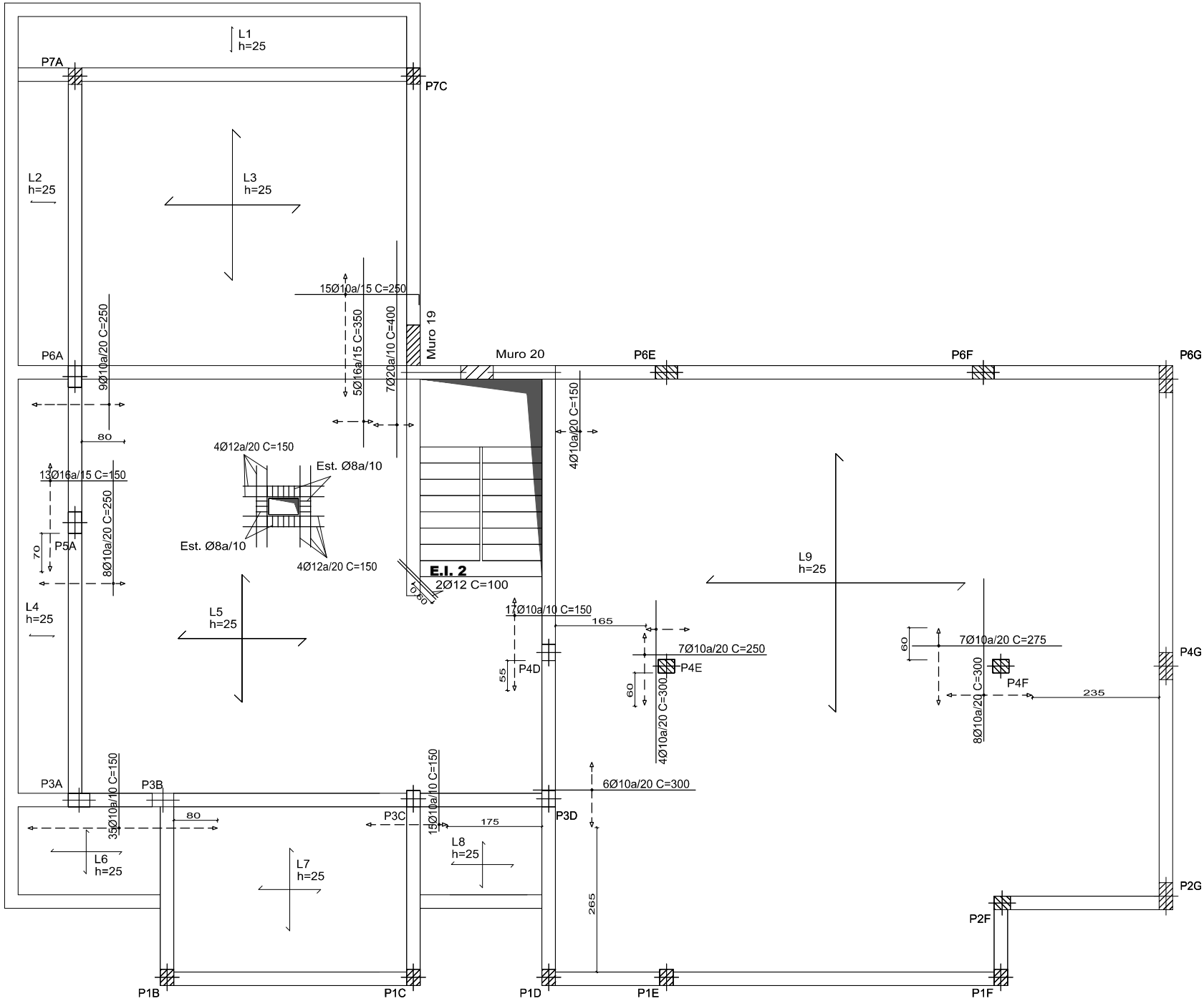
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Teto do Rés-do-Chão
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

Projecto de Estabilidade

 <div>Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com</div>	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Arm. Reforço Trans. e Long. Inferior Teto do Rés-do-Chão	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-12

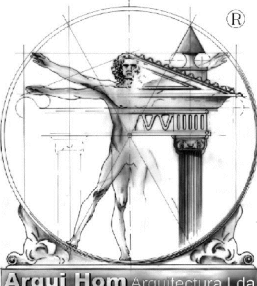


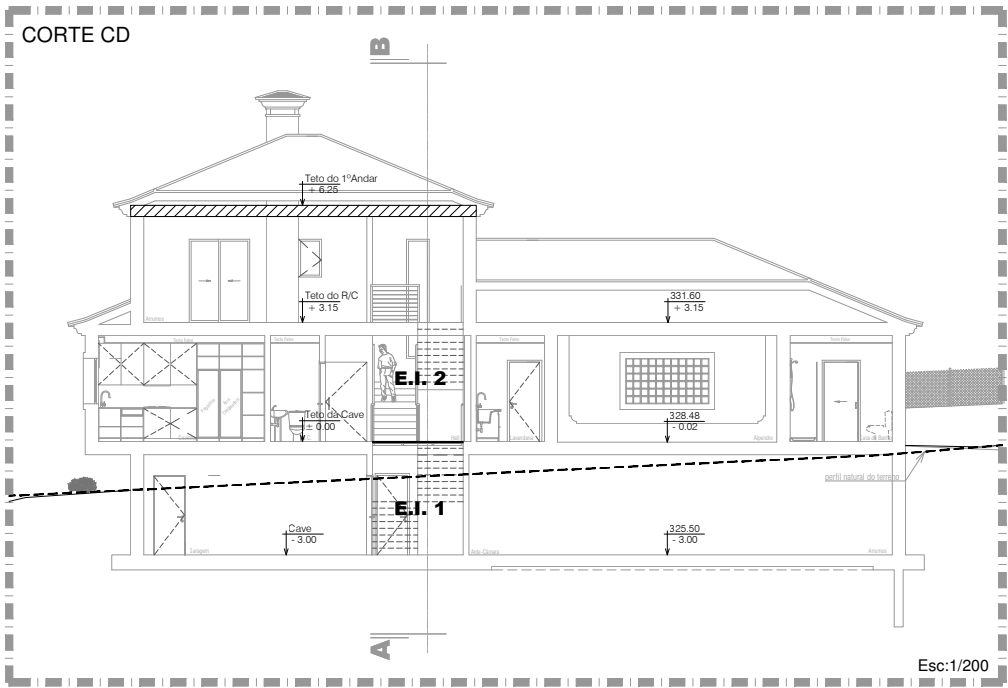
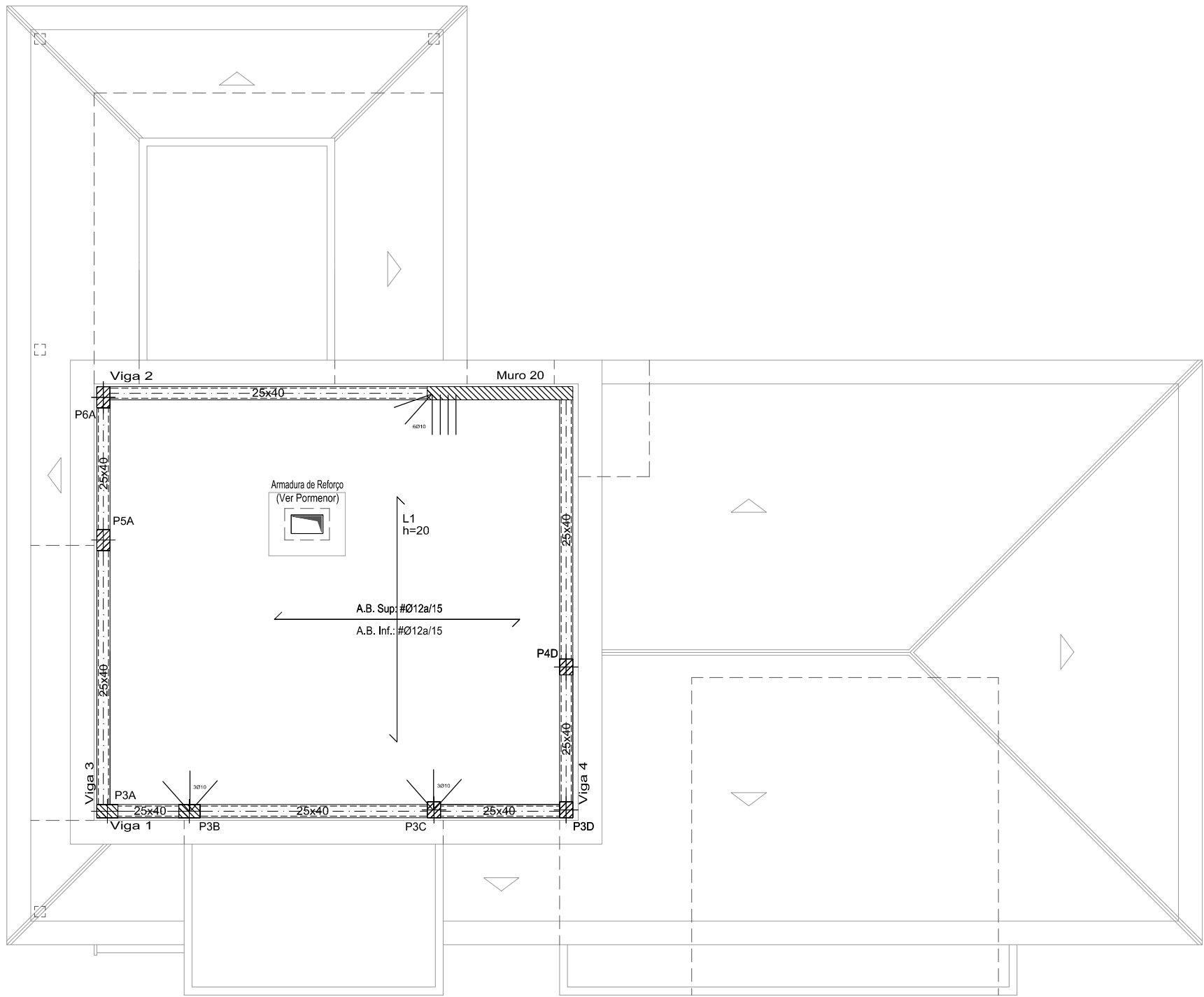
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Teto do Rés-do-Chão
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

Projecto de Estabilidade

 <p>Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com</p>	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Arm. Reforço Trans. e Long. Superior Teto do Rés-do-Chão	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-13



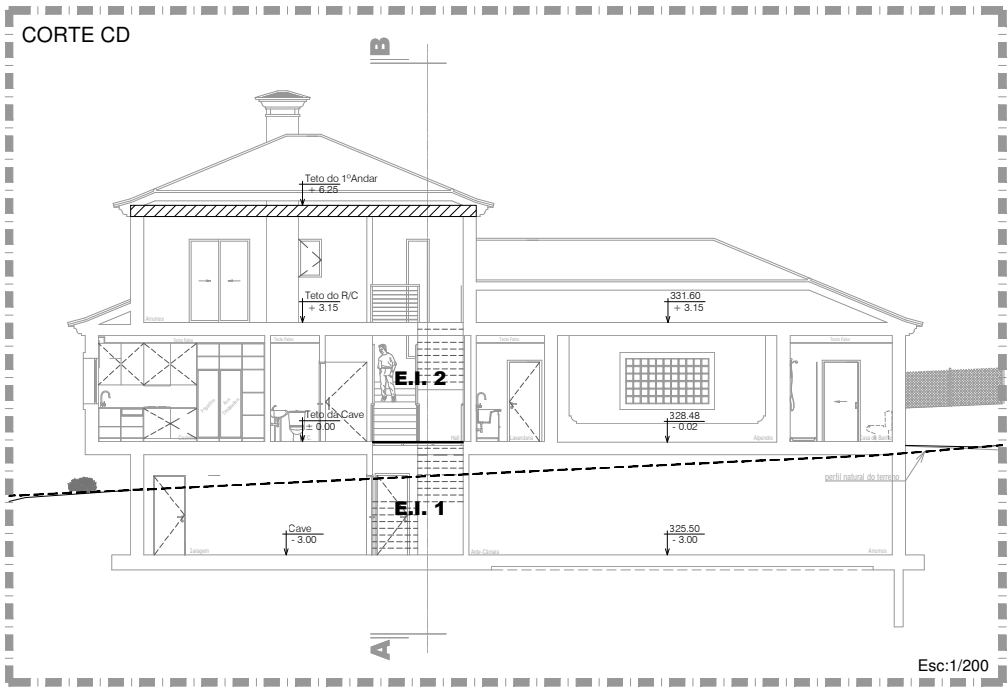
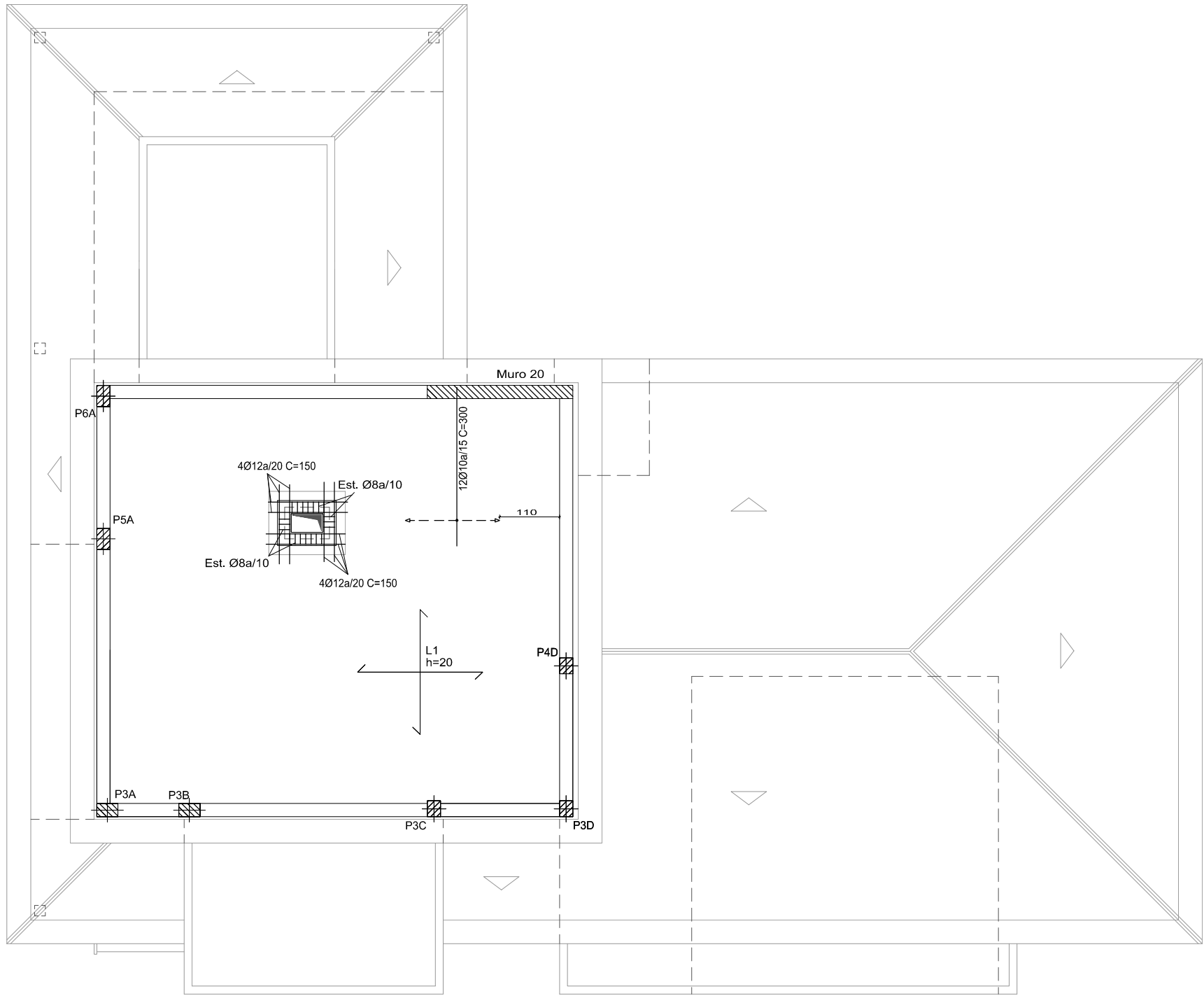
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Tecto do 1º Andar
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

Projecto de Arquitectura

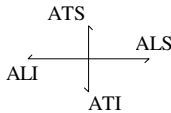
	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Armadura Base Teto do 1º Andar	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha nº A-15



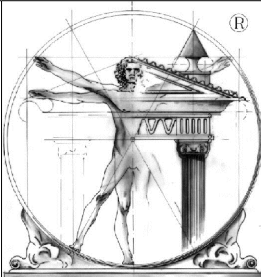
- Pilar que "nasce" no Piso
- Pilar que termina no Piso
- Pilar que continua
- Abertura na Laje
- Viga em Betão Armado
- Abertura em Parede de Betão

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3

Tecto do 1º Andar
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR
Armadura base
Laje
Transversal (ATS/ATI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Longitudinal (ALS/ALI):
Superior: Ø12 sep. 15 cm Inferior: Ø12 sep. 15 cm
Escala: 1:100

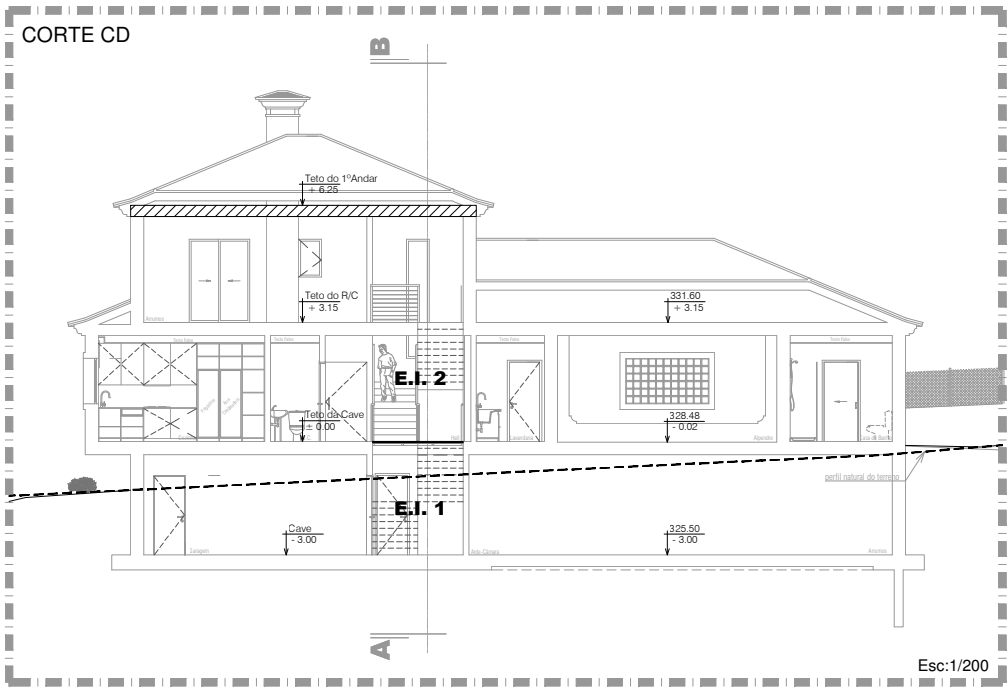
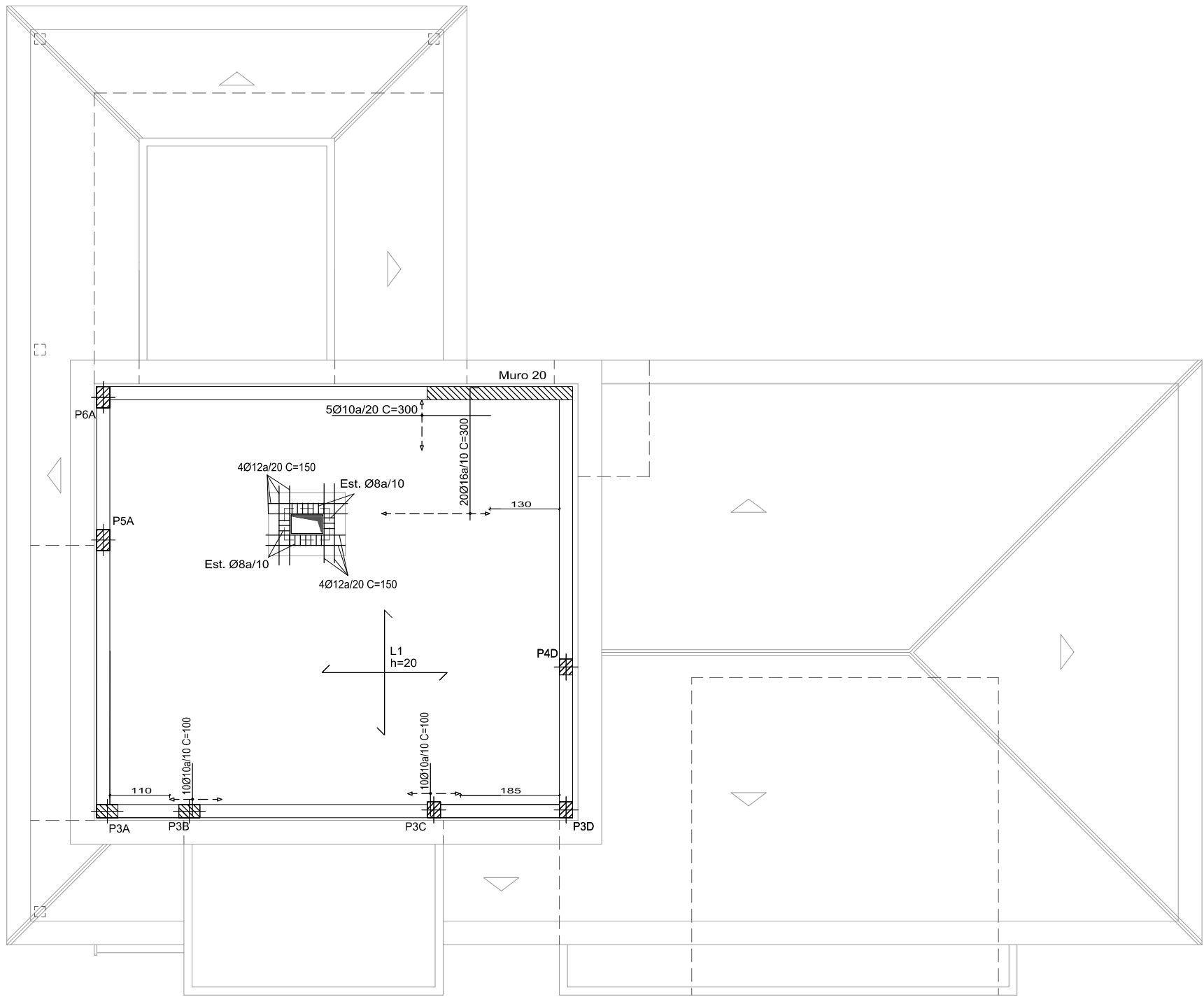


P r o j e c t o d e E s t a b i l i d a d e

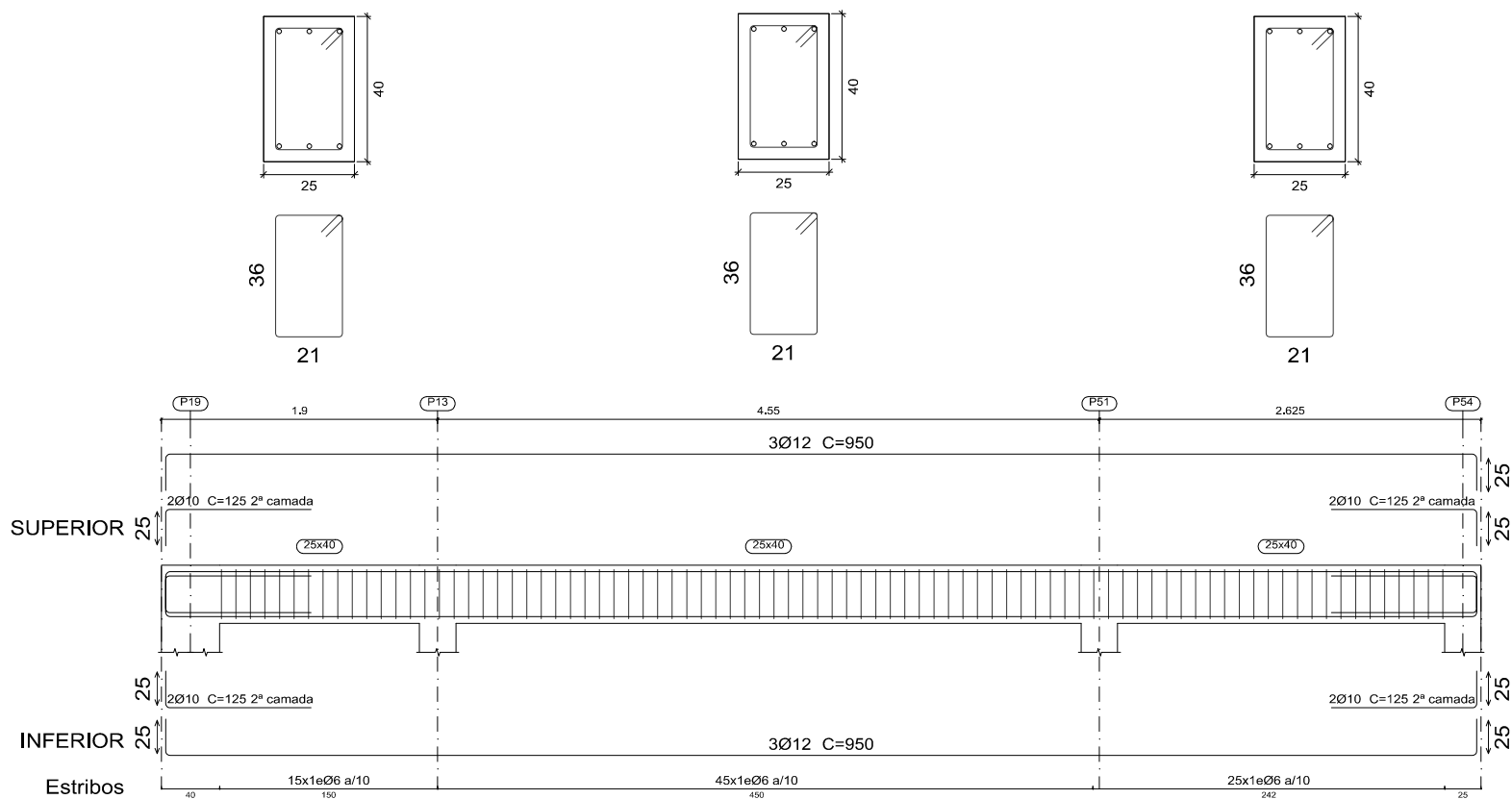


Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

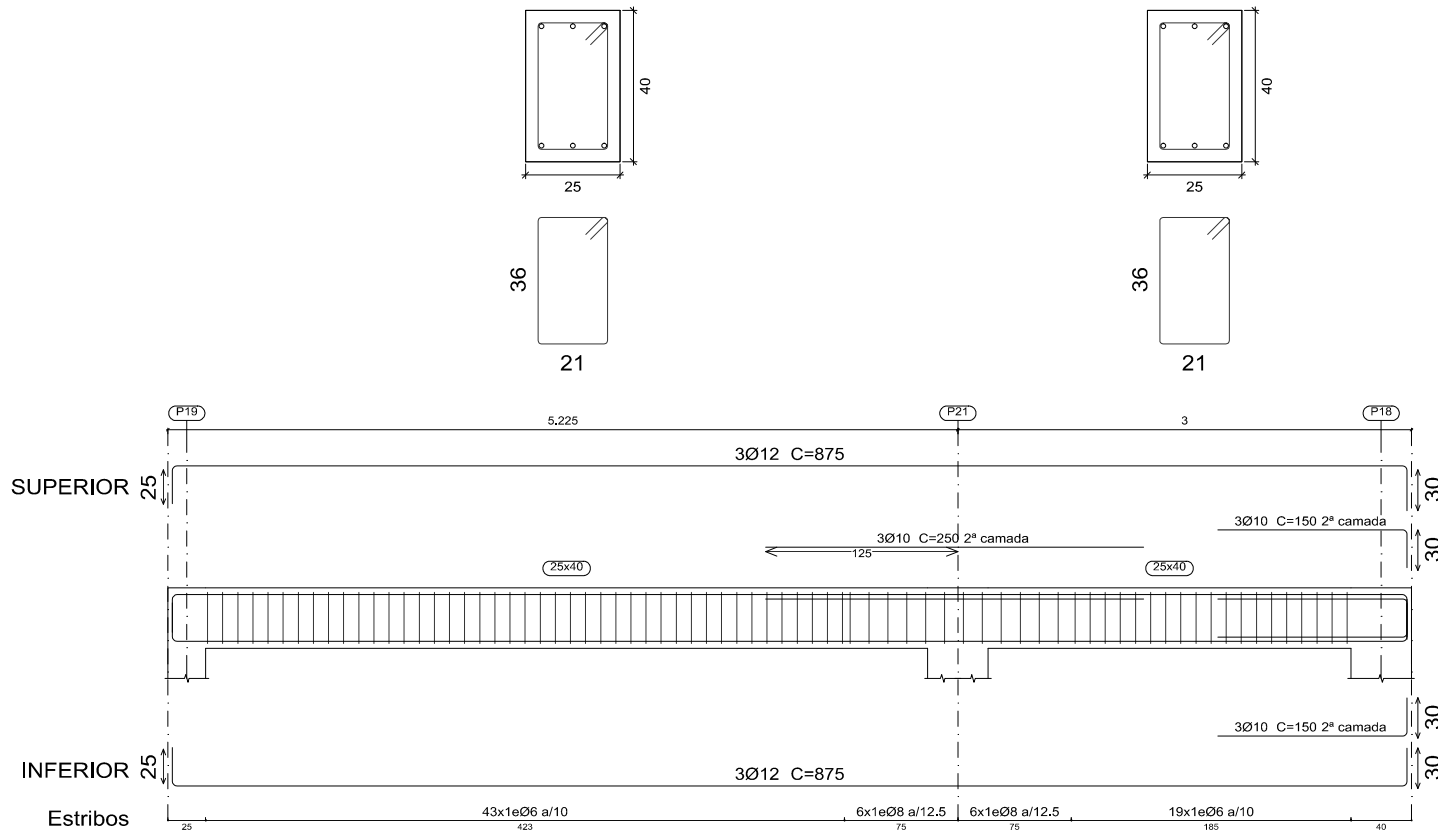
requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Arm. Reforço Trans. e Long. Inferior Teto do 1º Andar	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-16



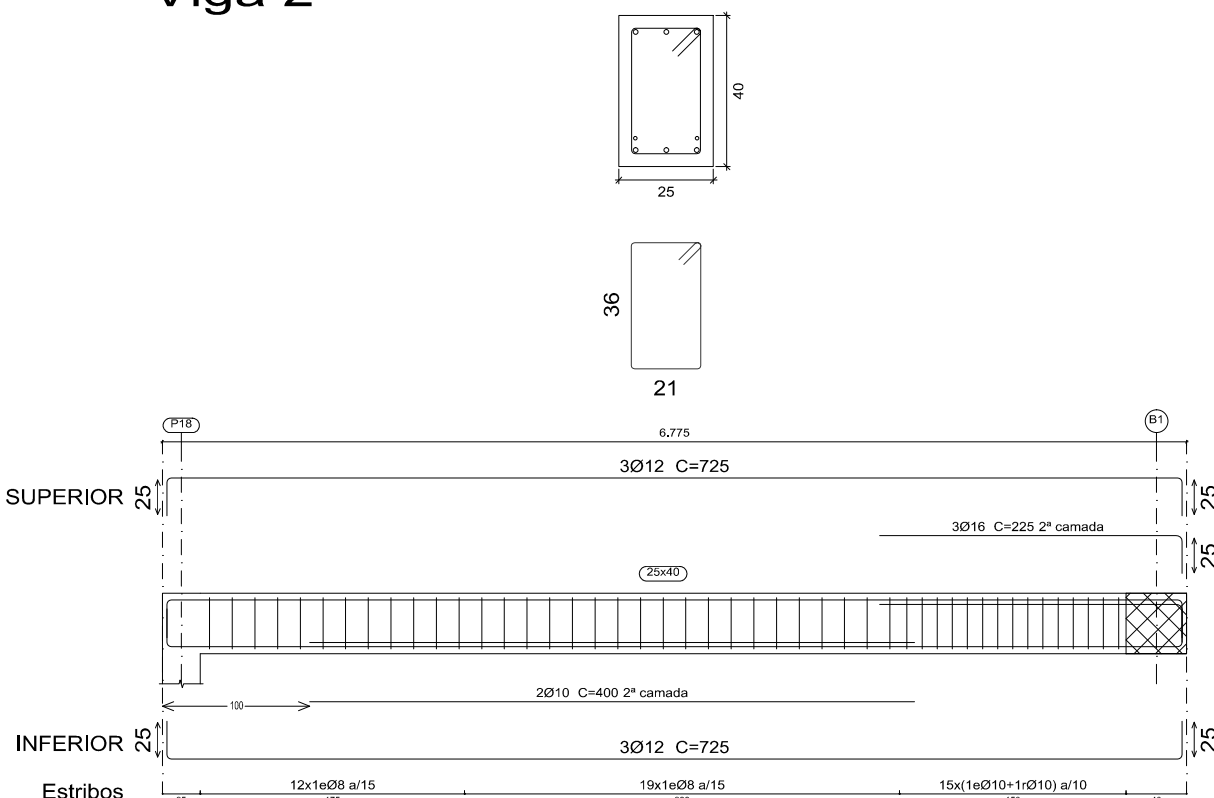
Viga 1



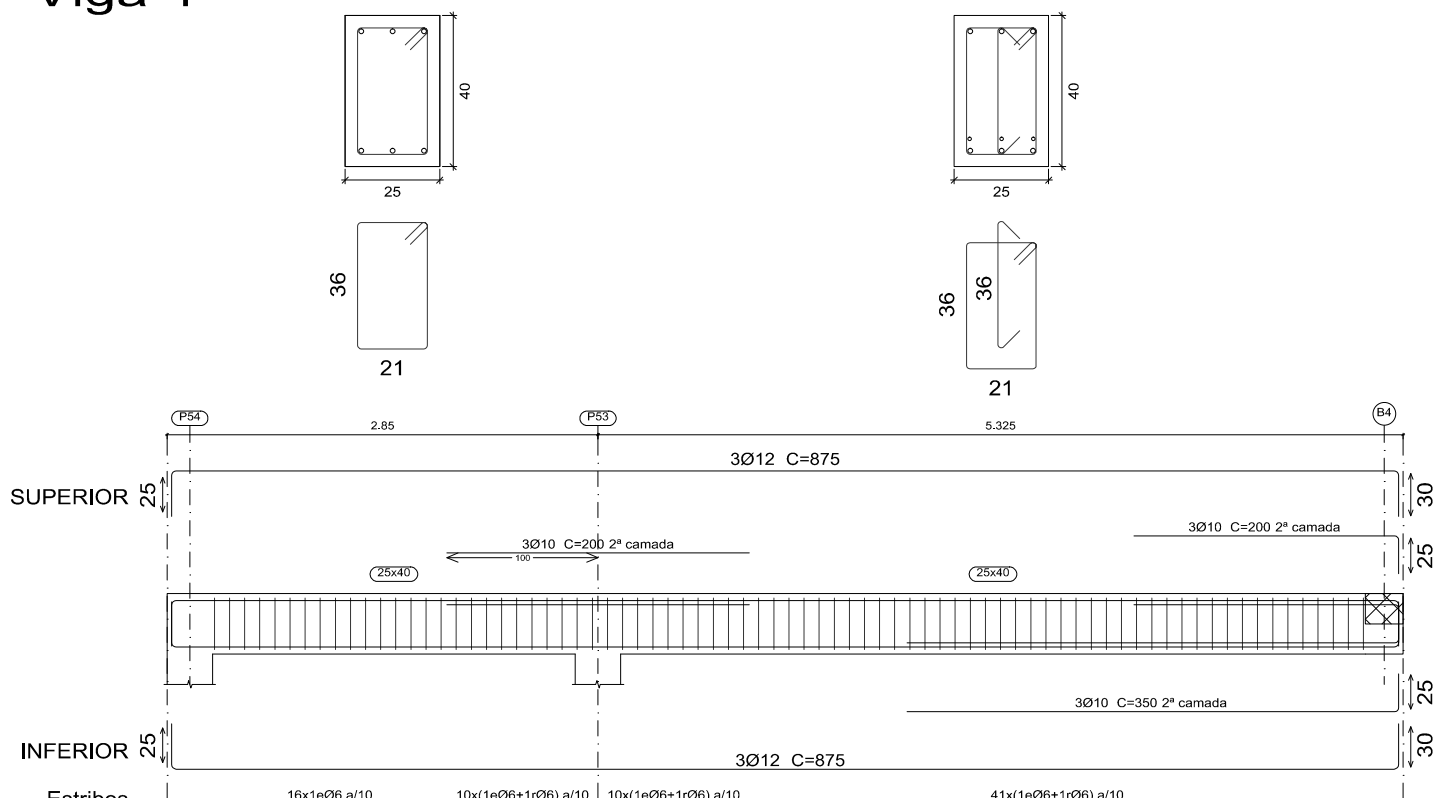
Viga 3



Viga 2



Viga 4



Escala pórticos: 1:50
Escala secções: 1:20

NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR

P r o j e c t o d e E s t a b i l i d a d e

requerente.: Nome do Requerente

designação.: Construção de uma Moradia

local.: Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra

contém.: Armadura de Vigas
Teto do 1º Andar

estagiário.: Hugo Filipe Gomes Major

substituído em :

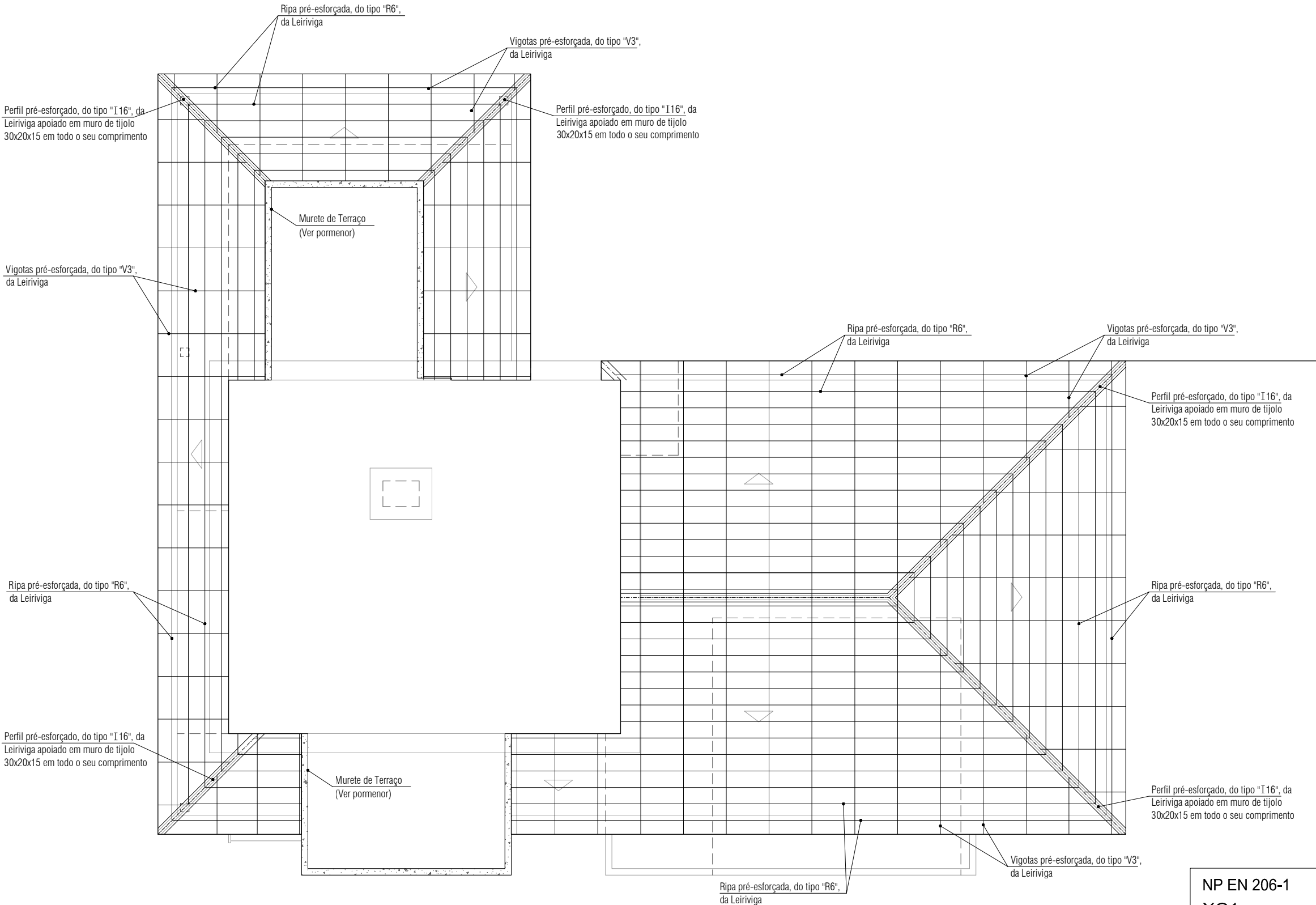
processo:

data: Setembro 2016

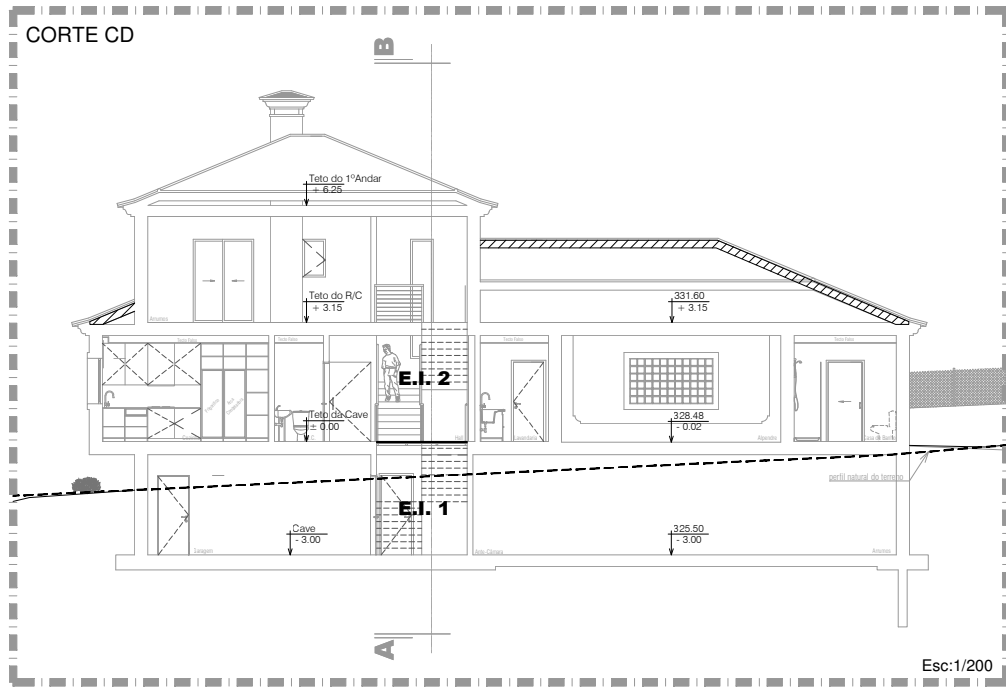
esc.: 1/20 e 1/50

folha nº **A-18**

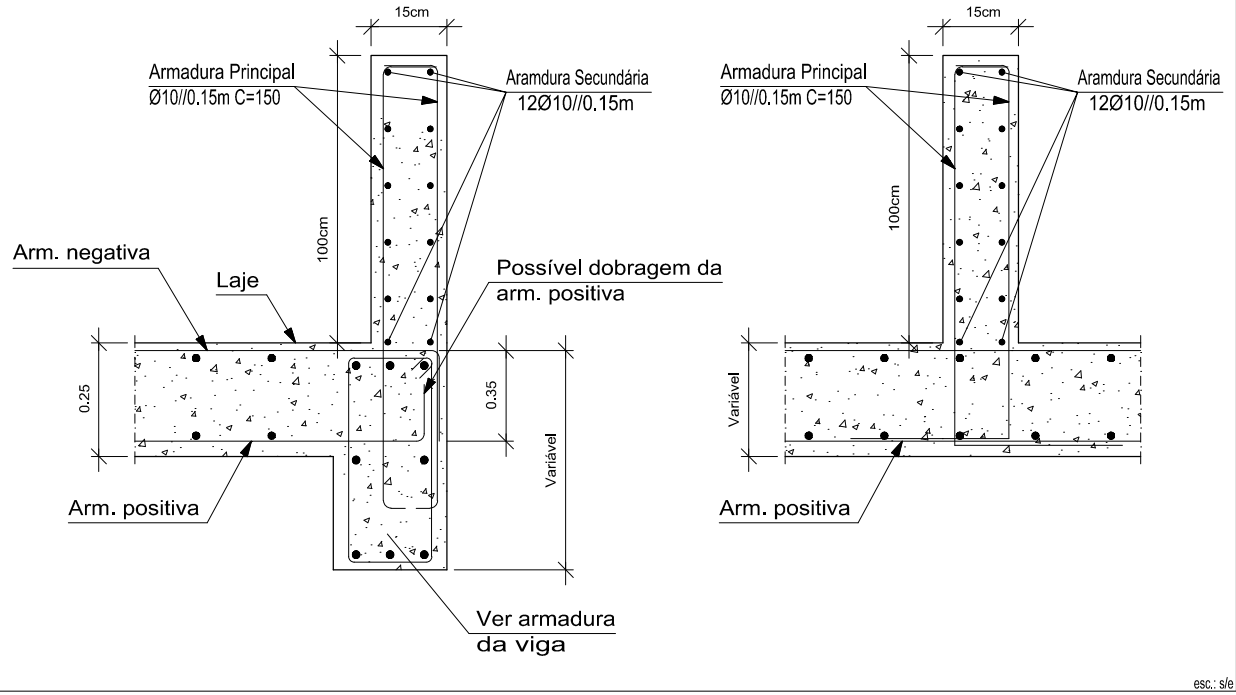
Este desenho é propriedade da "ARQUIHOM, Lda." e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado no todo ou em parte, sem autorização expressa (Lei 45/85, 17 Set.).



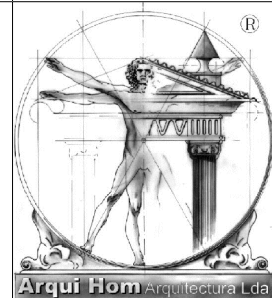
NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR



Murete de Terraço sobre viga/Laje

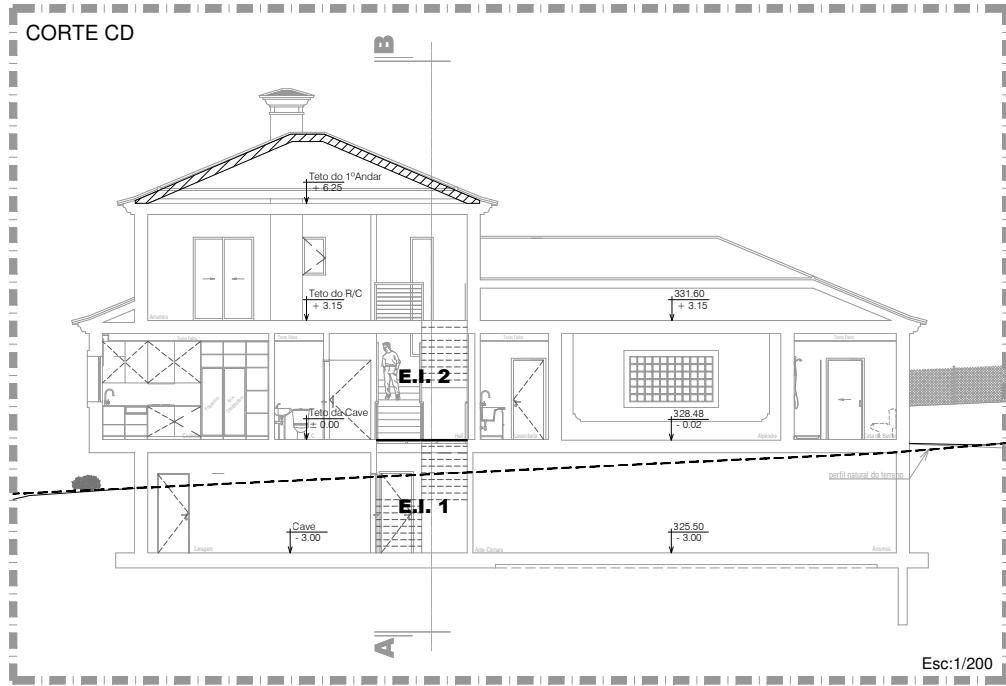
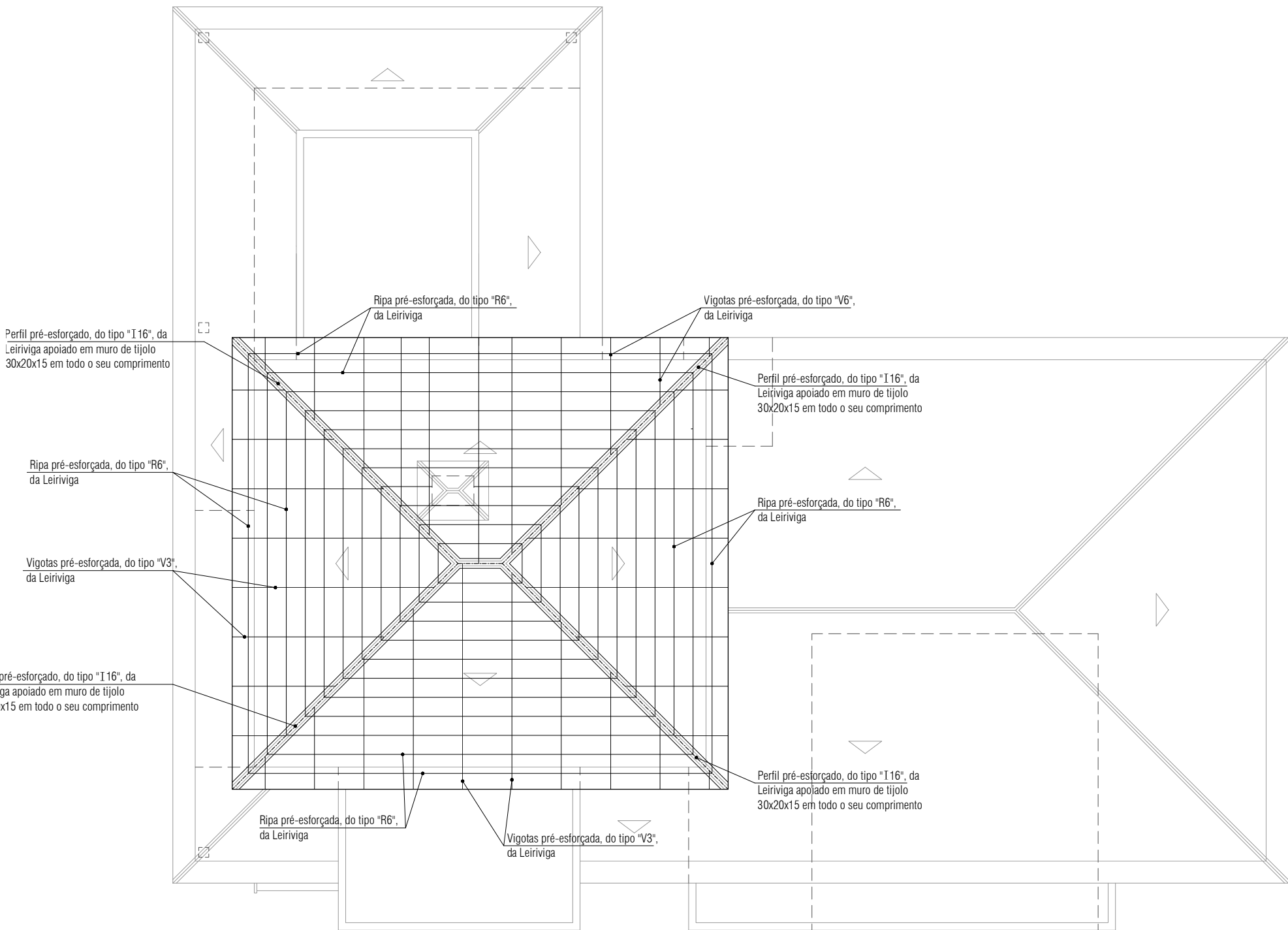


Projecto de Arquitectura



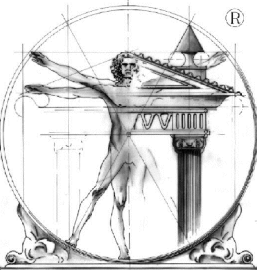
Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Teto do Rés-do-Chão Cobertura	esc.: 1/100
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-19



NP EN 206-1
XC1
CI 0.40
Dmax15
S3
Betão em Elementos: C25/30
Aços em Elementos: A400 NR

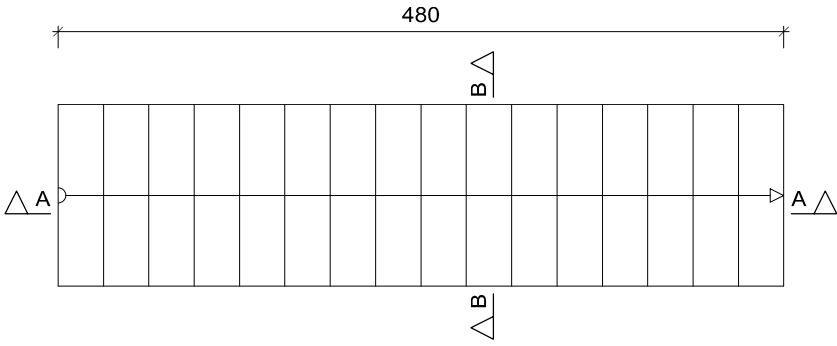
Projecto de Arquitectura

 Arquihom Arquitectura Lda Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Teto do 1º Andar Cobertura	esc.: 1/100
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-20

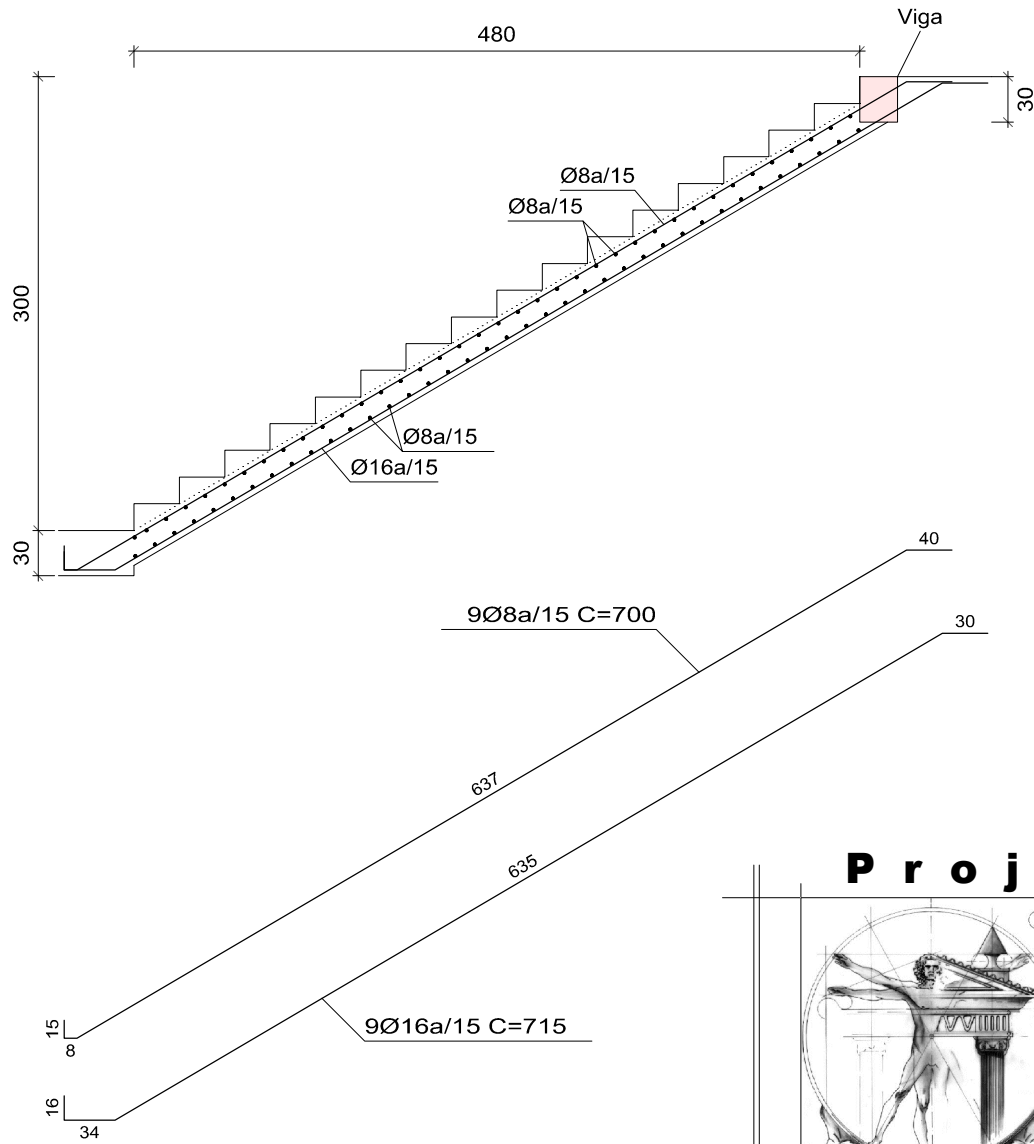
Escada Exterior - E.E.1 (Cave - Rés-do-Chão)
--

Lanço 1		
Geometria	Largura	1.200 m
	Espessura	0.20 m
	Cobertor	0.300 m
	Espelho	0.177 m
	Desnível que vence	3.00 m
	Nº de degraus	17
	Planta final	Tecto da Cave
Cargas	Planta inicial	Cave
	Peso próprio	4.91 kN/m ²
	Degraus (Betonado com a laje)	1.87 kN/m ²
	Revestimento	1.50 kN/m ²
	Guardas	0.20 kN/m
Materiais	Sobrecarga	3.00 kN/m ²
	Betão	B35 (C30/37)
	Aço	A400
	Rec. geométrico	3.0 cm

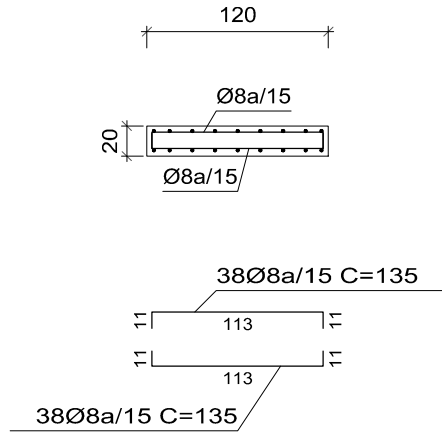
Planta da Escada Exterior - E.E.




Secção A-



Secção B-B

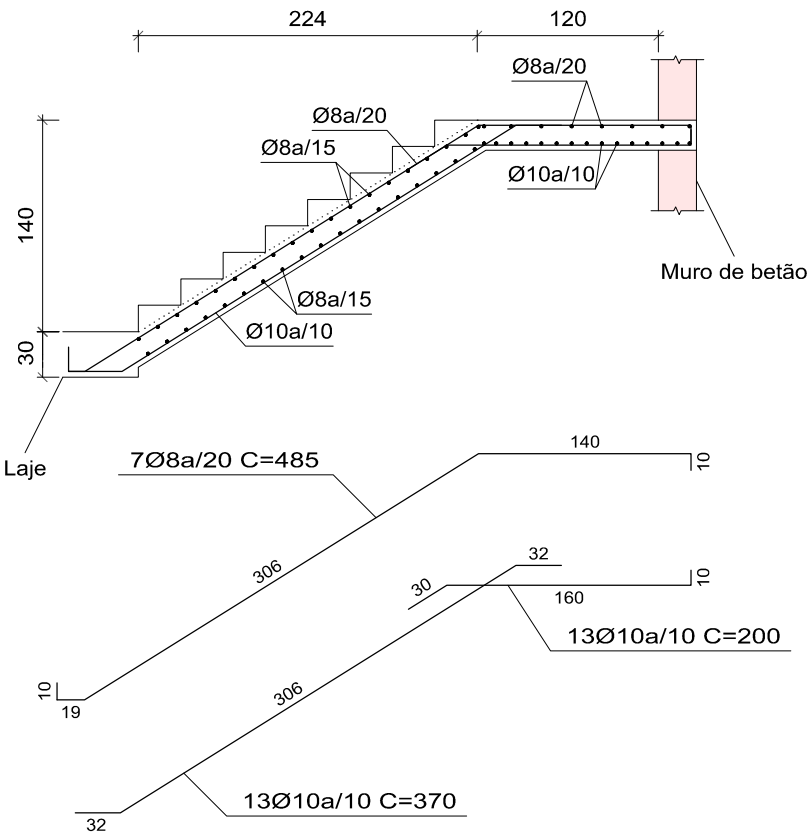


Projecto de Arquitectura

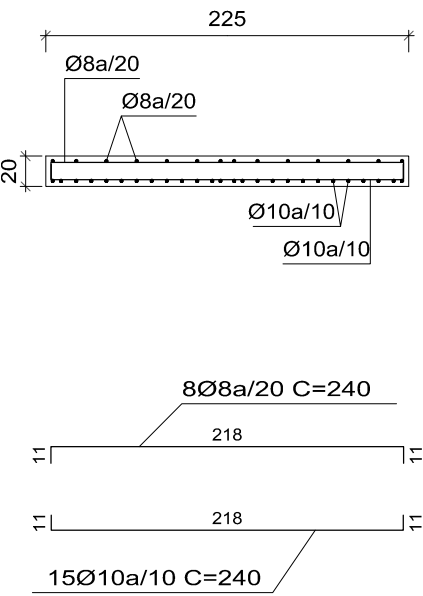
 <p>Arqui Hom Arqitectura Lda</p> <p>Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com</p>	requerente:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Pormenorização de Escadas E.E. 1	esc.: 1/50
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º	A-21

Escada Interior - E.I.1 (Cave - Rés-do-Chão)

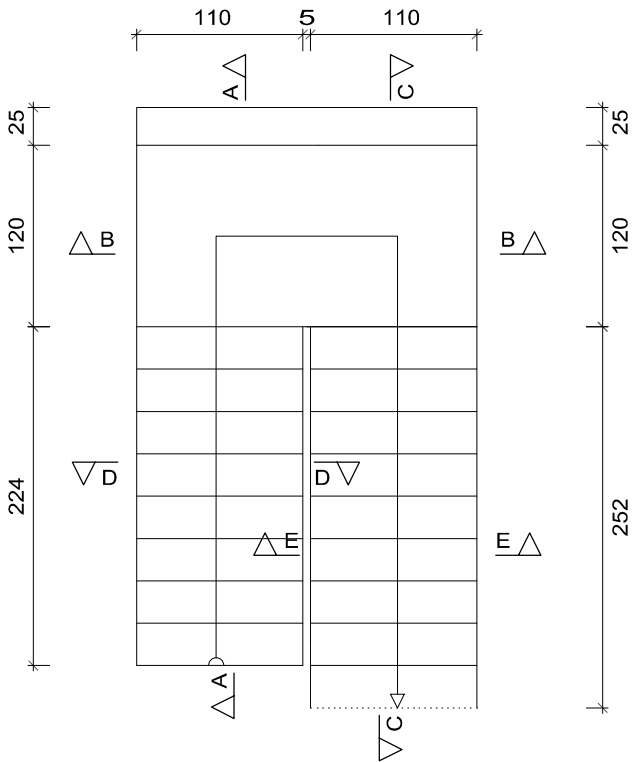
Secção A-A



Secção B-B

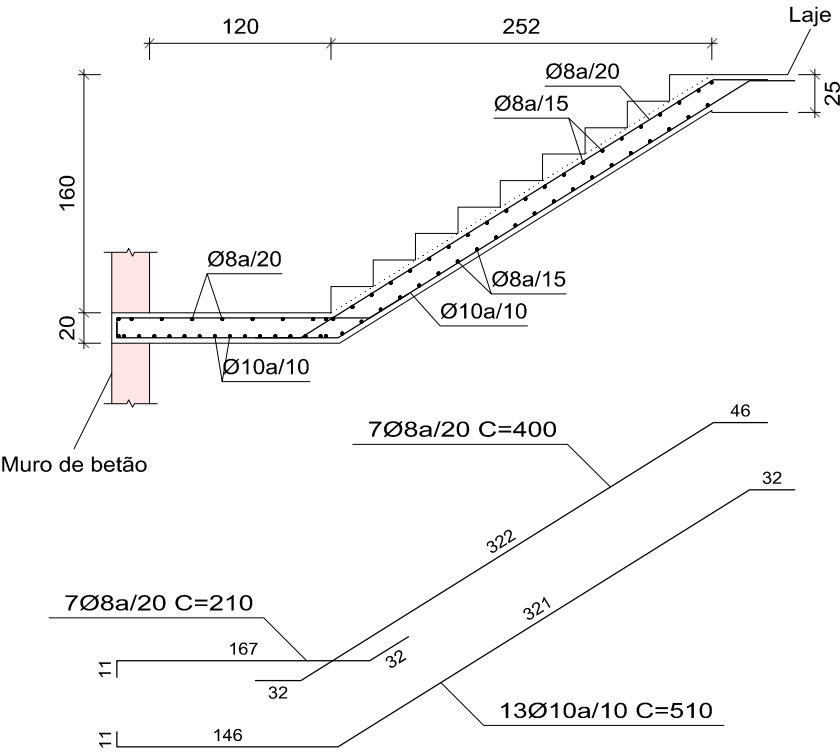


Planta da Escada Interior - E.I.1

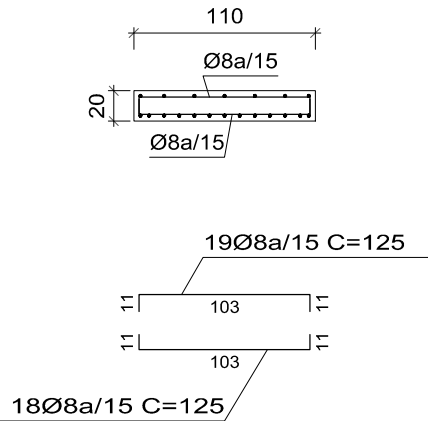


Lanço 1		
Geometria	Largura	1.10 m
	Espessura	0.20 m
	Cobertor	0.280 m
	Espelho	0.175 m
	Desnível que vence	3.00 m
Cargas	Nº de degraus	17
	Planta final	Tecto da Cave
	Planta inicial	Cave
	Peso próprio	4.91 kN/m2
	Degraus (Betonado com a laje)	1.82 kN/m2
Materiais	Revestimento	1.50 kN/m2
	Guardas	0.50 kN/m
	Sobrecarga	3.00 kN/m2
Materiais	Betão	B30 (C25/30)
	Aço	A400
	Rec. geométrico	3.0 cm

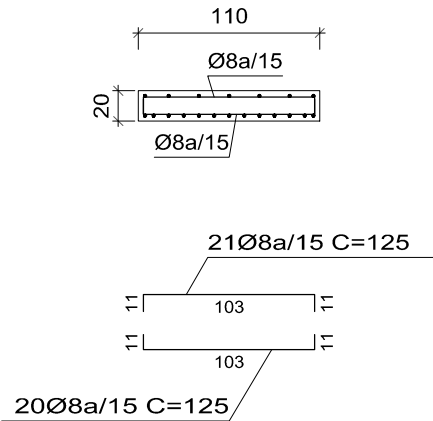
Secção C-C



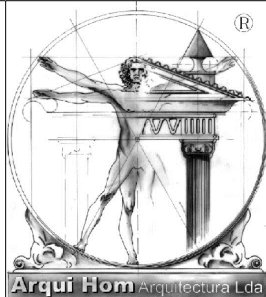
Secção D-D



Secção E-E



Projecto de Arquitectura

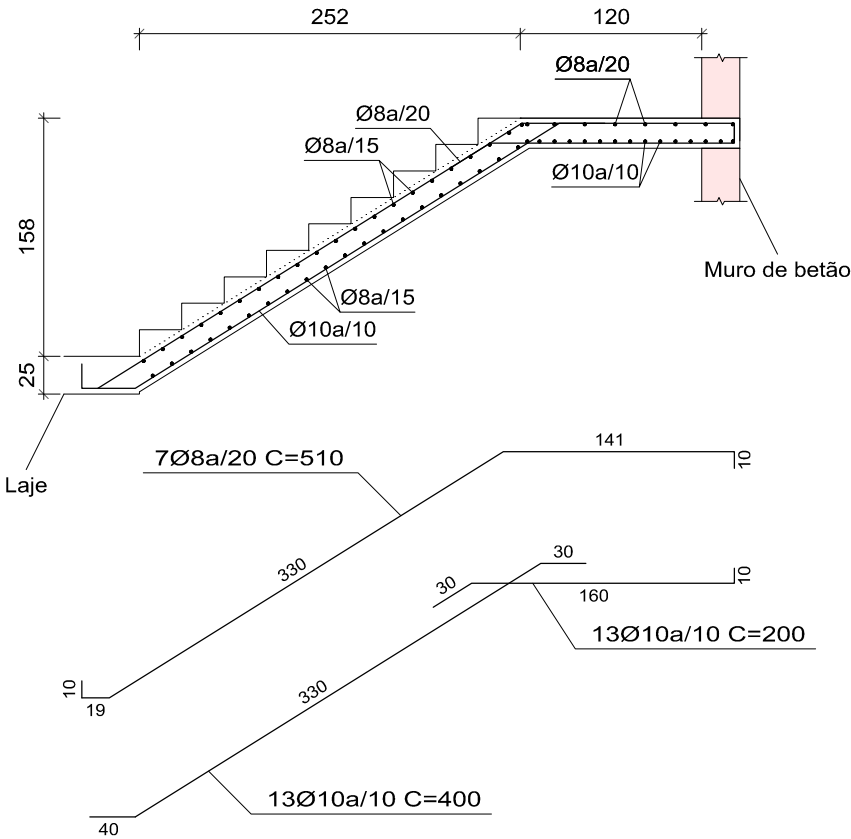


Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

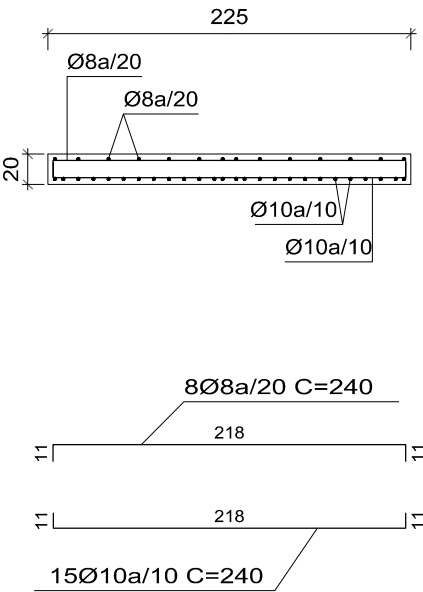
requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Pormenorização de Escadas E.I. 1	esc.: 1/50
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha nº A-22

Escada Interior - E.I.2 (Rés-do-Chão - 1  Andar)

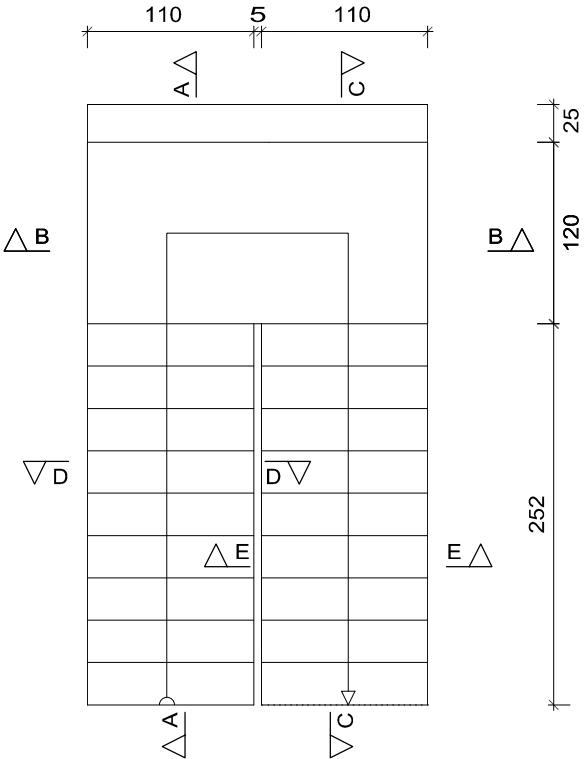
Secção A-A



Secção B-B

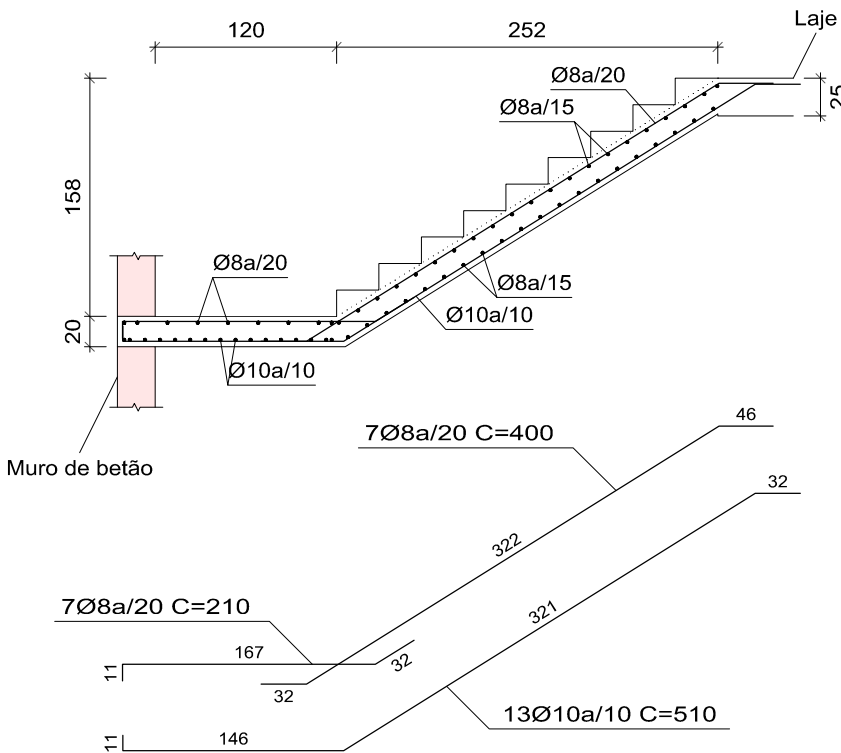


Planta da Escada Interior - E.I.2

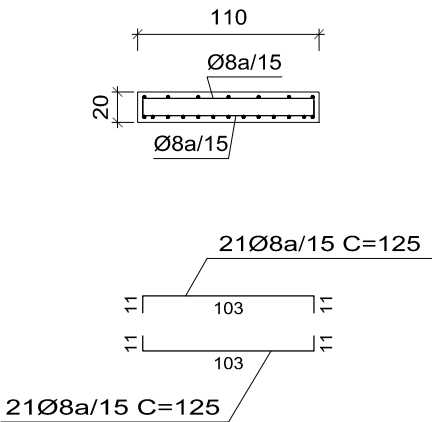


Lanço 1		
Geometria	Largura	1.100 m
	Espessura	0.20 m
	Cobertor	0.280 m
	Espelho	0.175 m
	Desnível que vence	3.15 m
Cargas	N� de degraus	18
	Planta final	Tecto do RC
	Planta inicial	Tecto da Cave
	Peso próprio	3.68 kN/m2
	Degraus (Betonado com a laje)	1.85 kN/m2
Materiais	Revestimento	1.50 kN/m2
	Guardas	0.50 kN/m
	Sobrecarga	3.00 kN/m2
	Betão	B30 (C25/30)
	Aço	A400
	Rec. geométrico	3.0 cm

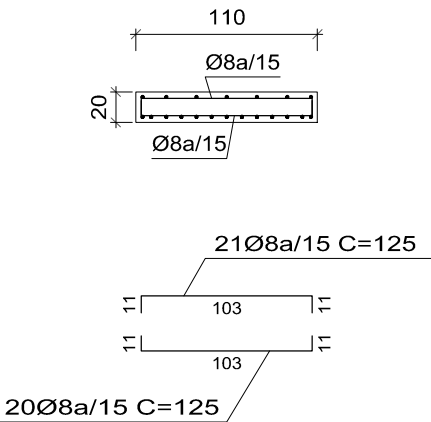
Secção C-C



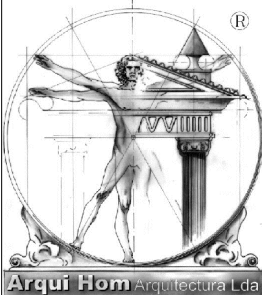
Sec  o D-D



Sec  o E-E



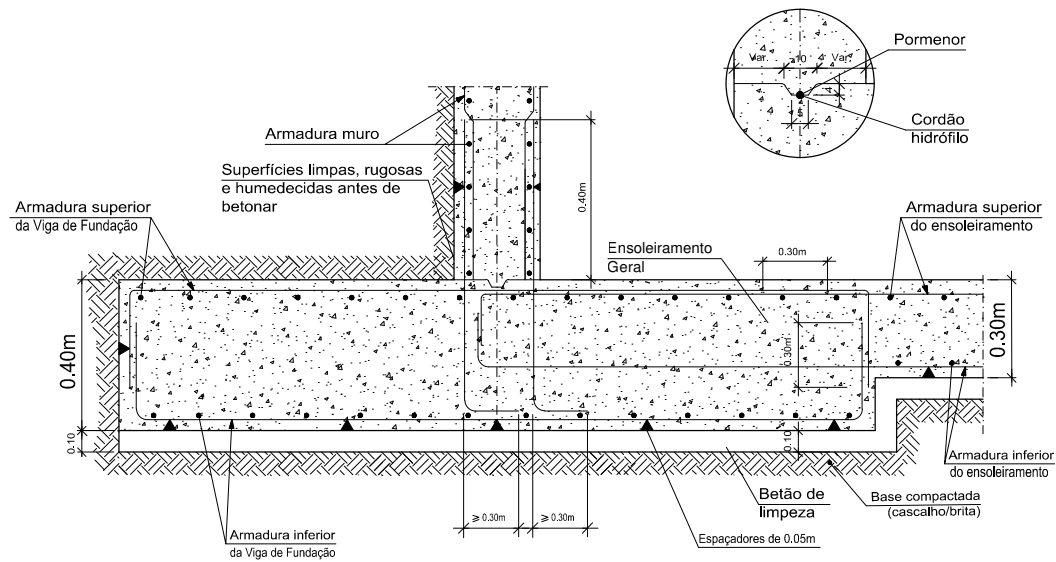
P r o j e c t o d e A r q u i t e c t u r a



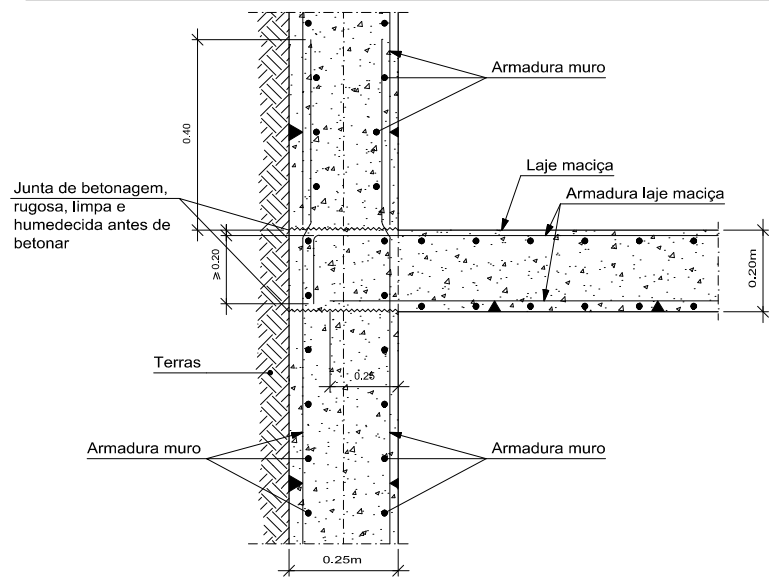
Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.  123, 2.  Andar, Gab. n.  6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihome.com # http://www.arquihome.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituido em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Pormenorização de Escadas E.I. 2	esc.: 1/50
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.é

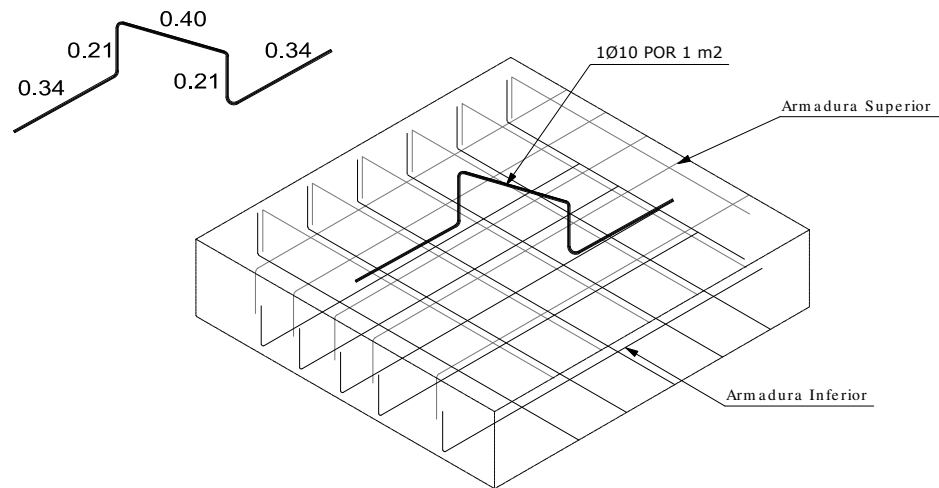
Arranque do muro no ensoleiramento.



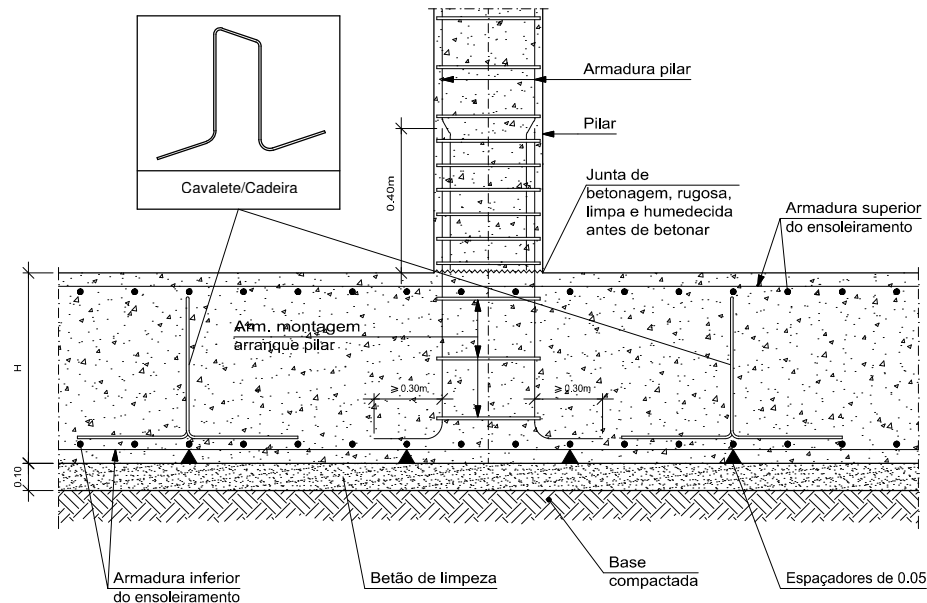
Ligação intermédia no muro
construído em duas fases. Laje maciça.



Pormenor da Cadeira



Pilar central.



NP EN 206-1
XC4
CI 0.40
Dmax15
S3
Recobrimento: 4 cm
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

Quadro de características. Ensoleiramento

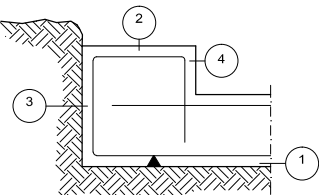
Definição das condições de aderência

Direcção de betonagem	Direcção de betonagem	Direcção de betonagem	Direcção de betonagem
45° ≤ α ≤ 90° Para todos os valores de h	h ≤ 250 mm	h > 250 mm	h > 600 mm
A	A	B	B
Condições de boa aderência		Outras condições de aderência	

Valores do comprimento de amarração, Lb,net

Tipo de aço	Tipo de amarração	Classes do betão e condições de aderência							
		B20		B25		B30		B35	
		A	B	A	B	A	B	A	B
A400 NR	Recia	40Ø	60Ø	35Ø	50Ø	30Ø	45Ø	30Ø	40Ø
A400 ER									
A400 EL	Com gancho	60Ø	85Ø	55Ø	80Ø	50Ø	75Ø	45Ø	65Ø

Recobrimentos



- 1.- Recobrimento inferior em contacto com o terreno ≥ 5 cm.
- 2.- Recobrimento superior livre 3 cm.
- 3.- Recobrimento lateral em contacto com o terreno 5 cm.
- 4.- Recobrimento lateral livre 3 cm.

Armadura base da laje

Altura laje

Armadura superior: #Ø12a/15

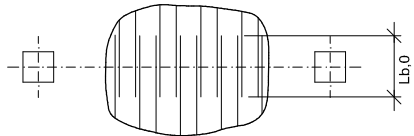
Armadura inferior: #Ø12a/15

Variável

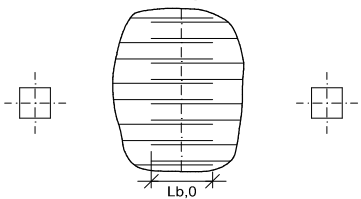
Armadura superior #Ø12a/15

Armadura inferior #Ø12a/15

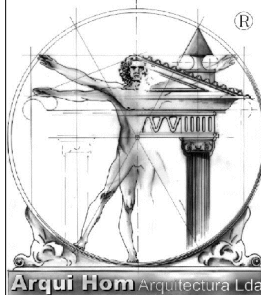
A emenda das armaduras superiores no alinhamento dos pilares realizar-se-á com comprimento Lb,0



A emenda das armaduras inferiores realizar-se-á no centro do vão com o comprimento Lb,0



P r o j e c t o d e E s t a b i l i d a d e



Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.: Nome do Requerente

substituído em :

designação: Construção de uma Moradia

processo:

local: Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra

data:
Setembro 2016

contém: Pormenorização do Ensoleiramento
e Muros c/ lajes

esc.:

s/e

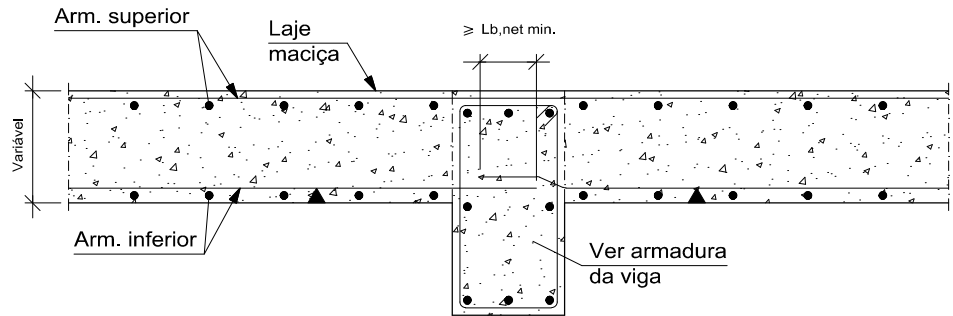
estagiário: Hugo Filipe Gomes Major

folha n.º

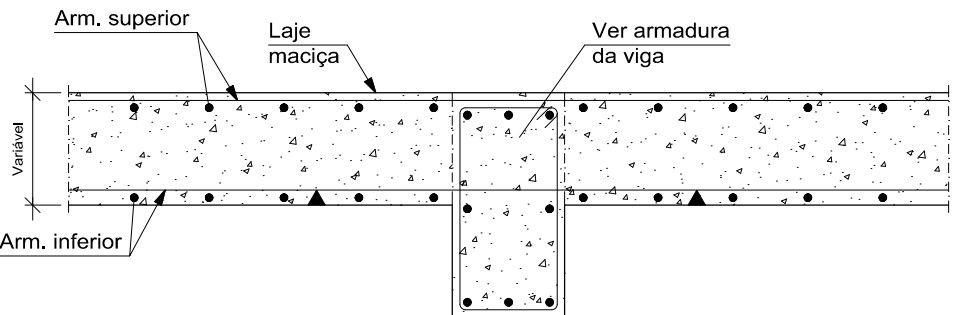
A-24

Viga alta.

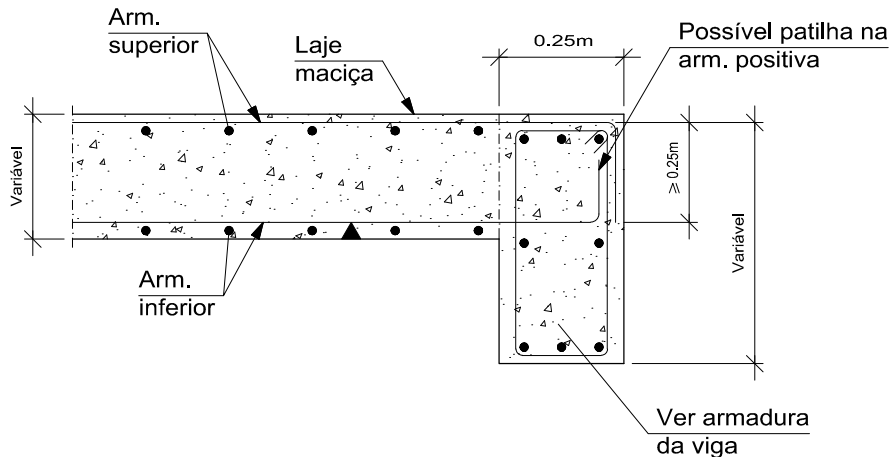
Armaduras positivas interrompidas



Armaduras positivas contínuas



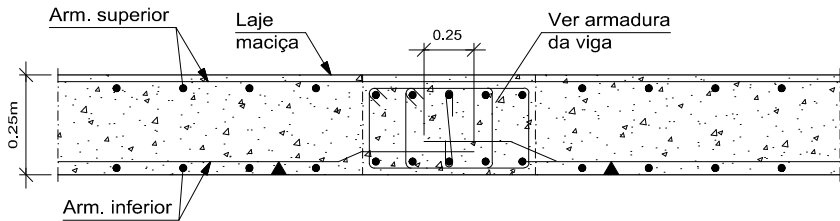
Extremo do vão sobre viga alta.



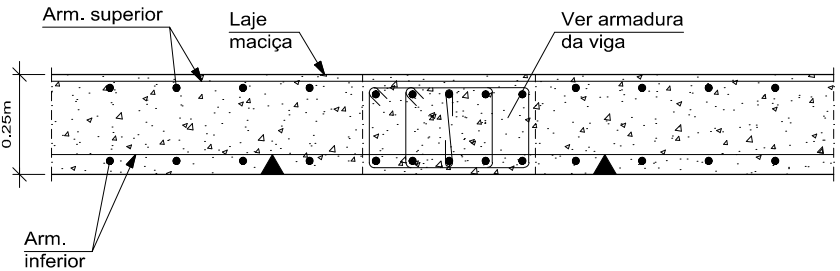
NP EN 206-1
XC4
CI 0.40
Dmax15
S3
Recobrimento: 4 cm
Betão em Elementos: C30/37
Aços em Elementos: A400 NR
Tensão de Cedência do Solo: 0.2 Mpa

Viga rasa.

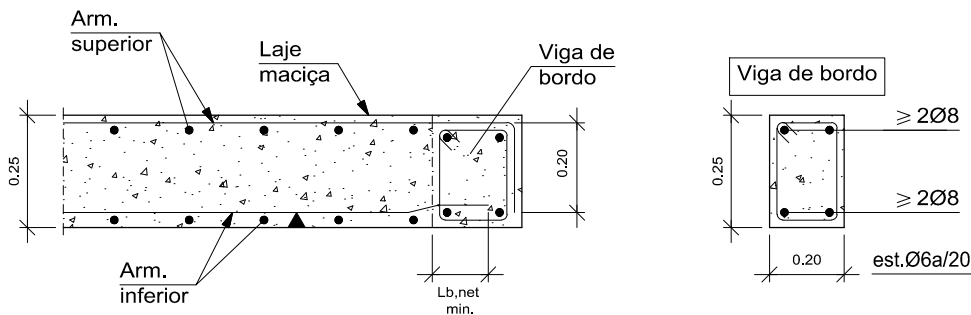
Armaduras positivas interrompidas na zona de momentos negativos



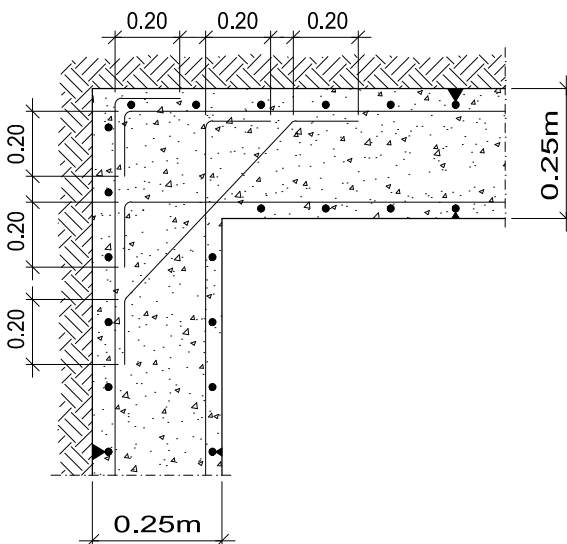
Armaduras positivas contínuas



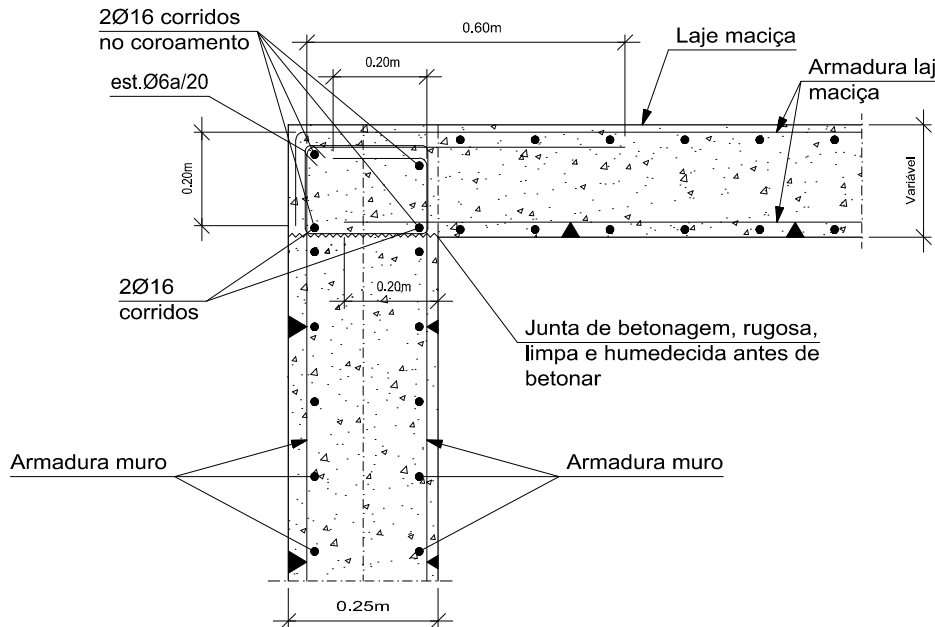
Viga de bordo da consola.



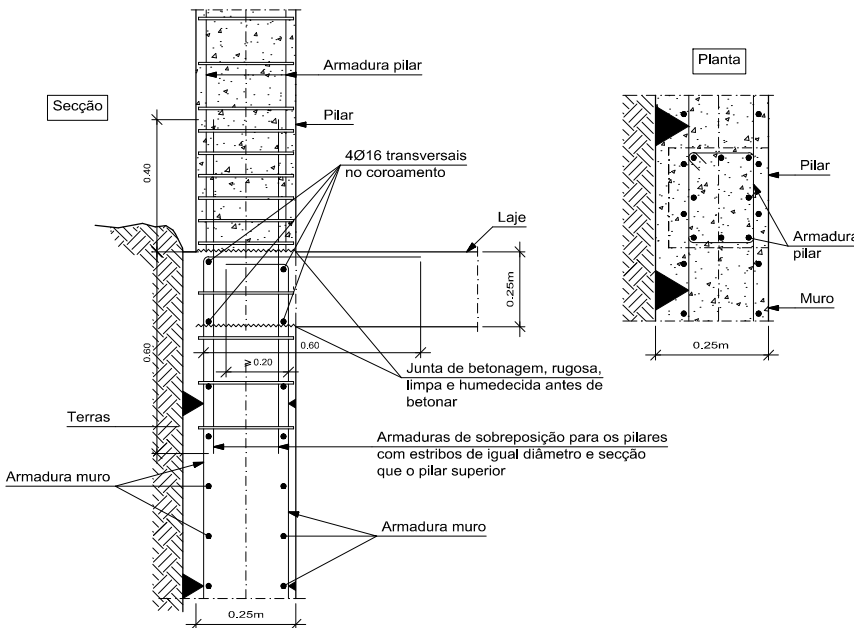
Pormenor das armaduras horizontais no canto.



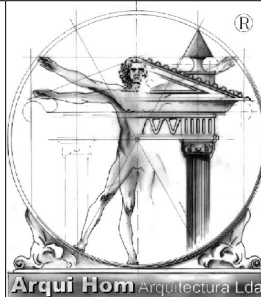
Ligação do coroamento do muro com laje maciça.



Pilar embebido no muro de igual espessura.
Com cofragem lateral.



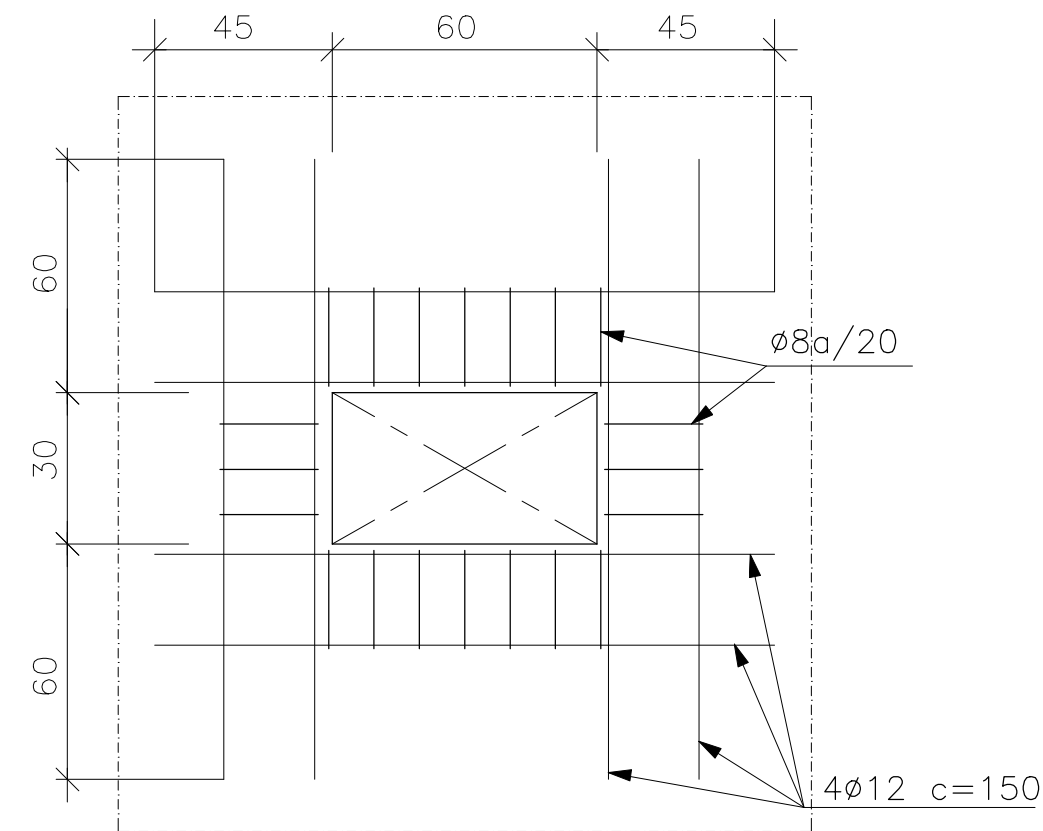
Projecto de Estabilidade



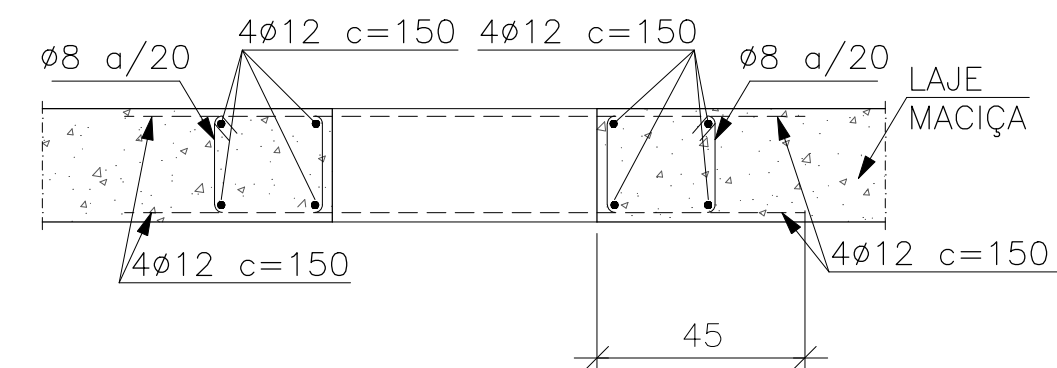
Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva,
n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima
tel.: 249533901 fax: 249404861
geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com

requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
designação:	Construção de uma Moradia	processo:
local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
contém:	Pormenorização de Lajes, Vigas e Paredes	esc.: s/e
estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-25

Reforço de Abertura
na abertura da Laje Maciça

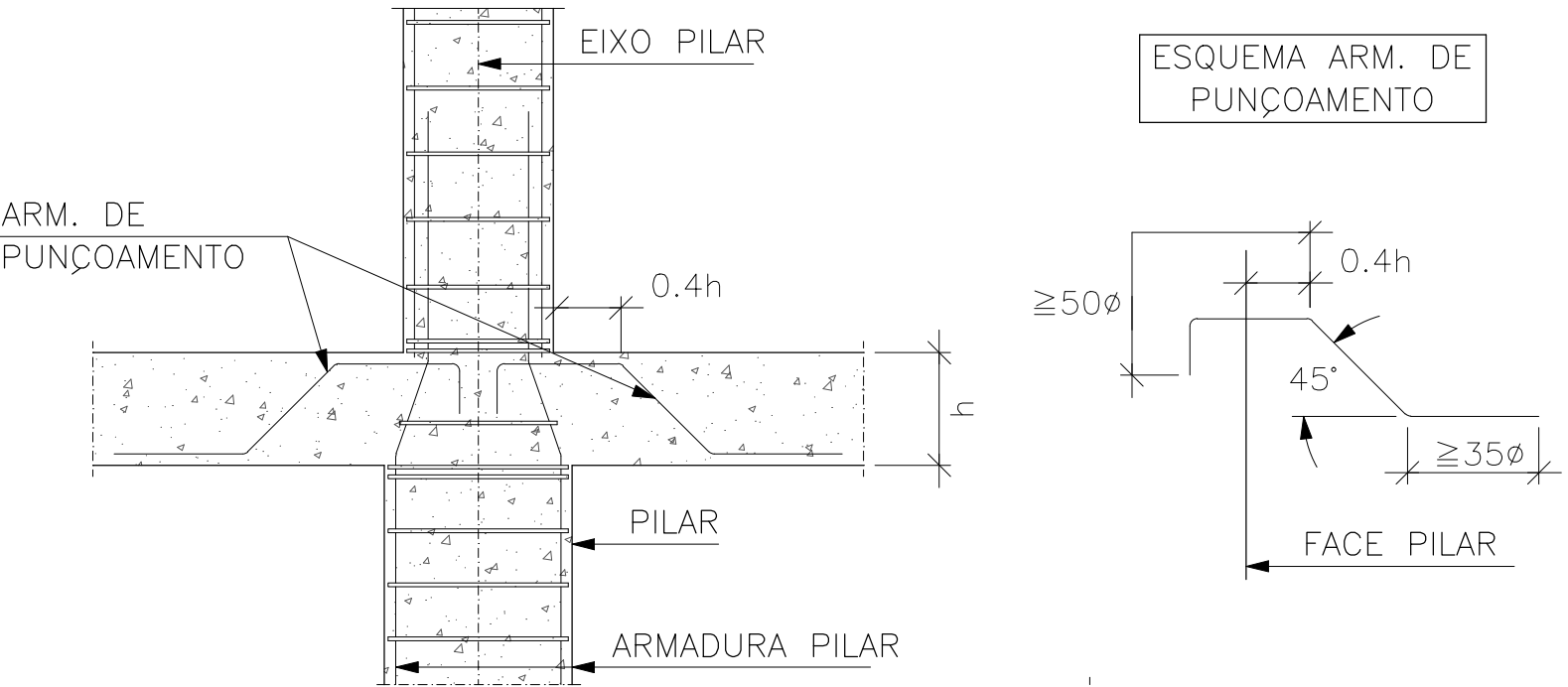


Planta

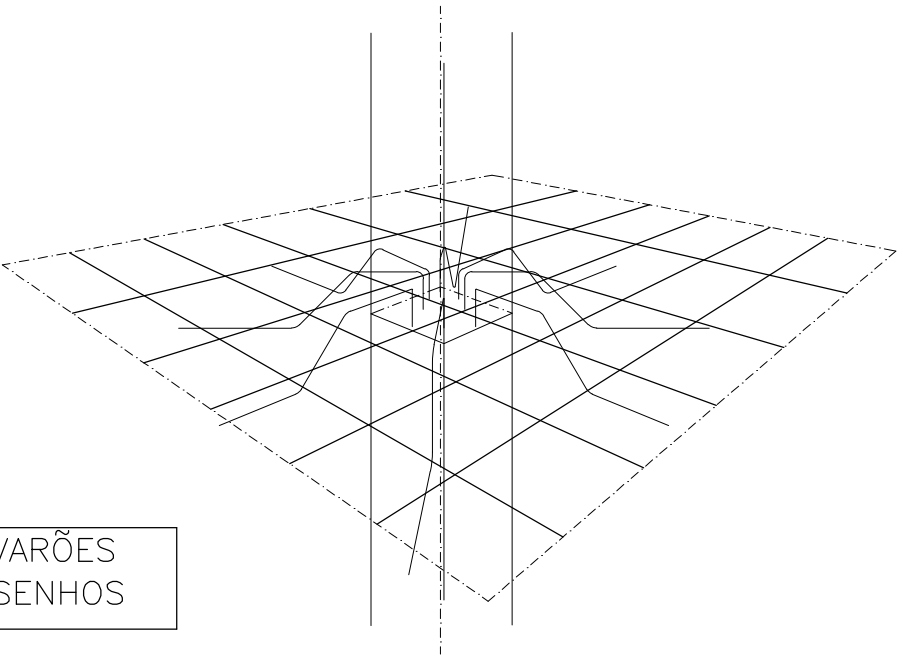


Corte

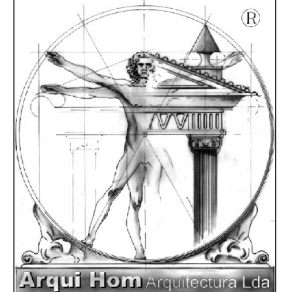
Reforço ao Punçoamento com
Varões a 45° Dispostos Radialmente



ESQUEMA ARM. DE
PUNÇOAMENTO



NOTA: O N° E Ø DOS VARÕES
INDICAR-SE-À NOS DESENHOS

P r o j e c t o d e E s t a b i l i d a d e			
 <div>Edifício Fatimae, Av. D. José Alves Correia da Silva, n.º 123, 2.º Andar, Gab. n.º 6, 2495-402 Fatima tel.: 249533901 fax: 249404861 geral@arquihom.com # http://www.arquihom.com</div>	requerente.:	Nome do Requerente	substituído em :
	designação:	Construção de uma Moradia	processo:
	local:	Rua da Charneca - Donairia - Santa Catarina da Serra	data: Setembro 2016
	contém:	Pormenores Construtivos Lajes Maciças	esc.: s/e
	estagiário:	Hugo Filipe Gomes Major	folha n.º A-26